

LO QUE EINSTEIN LE CONTÓ A SU BARBERO



Respuestas científicas a lo incomprensible de la vida cotidiana: desde la física de la nieve hasta la química del café y la matemática del bronceador

ROBERT L. WOLKE

Lectulandia

Robert L. Wolke nos ayuda a desentrañar y comprender cientos de fenómenos con los que convivimos a diario en los que no reparamos ni en sus causas ni en sus porqués. Con explicaciones amenas y rigurosas, el autor nos ayudará a descubrir las «verdades» de nuestro universo físico inmediato. Sus sorprendentes respuestas nos devuelve a todos la gratificante sensación de entender mejor el mundo que nos rodea.

¿Por qué dirige el fuego sus llamas hacia arriba?

¿Pueden los campesinos reconocer por el olfato la proximidad de la lluvia?

¿Por qué los espejos invierten la derecha y la izquierda pero no el arriba y abajo? ¿Por qué la gravedad intenta atraer las cosas hacia el centro de la Tierra y no a Disney World?

¿Por qué el Llanero Solitario utiliza balas de plata?

Un gran éxito de divulgación científica. Respuestas científicas á los misterios de la vida cotidiana

ROBERT L. WOLKE es profesor emérito de química en la Universidad de Pittsburg (EE.UU.) donde lleva a cabo proyectos de investigación en los campos de la física y la química. Educador y prestigioso conferenciante, Wolke es muy conocido por su capacidad para facilitar la comprensión y el disfrute de la ciencia. Entre sus publicaciones destacan Lo que Einstein contó a sus amigos, Lo que Einstein le contó a su cocinero (1 y 2) y Lo que Einstein no sabía, publicados por Ediciones Robinbook.

Lectulandia

Robert L. Wolke

Lo que Einstein le contó a su barbero

ePUB v1.0

Ptmas 06.09.11

más libros en lectulandia.com

Titulo original: *What Einstein Told His Barber*

© Robert L. Wolke

All rights reserved. Published by arrangement with Dell Publishing,
an imprint of The Bantam Dell Publishing Group, a division of Random
House, Inc. New York, New York, U. S. A.

Diseño de cubierta: Jaime Fernández

Fotografía de cubierta: Corbis

Producción y compaginación: MC producció editorial

Dedico este libro a mi difunto padre,
Harry L. Wolke, a quien el destino le negó
la oportunidad de dedicarse a sus propias
inclinaciones hacia la ciencia y el lenguaje,
o siquiera de ver a su hijo convertirse
en científico y autor.

Introducción

Ya sé lo que está pensando. Está pensando: «¿Tenía acaso Einstein un barbero?».

Ha visto sus fotos, ¿verdad? Y está muy claro que el gran hombre dedicaba mucho más tiempo a cultivar el interior de su cabeza que el exterior. Pero este libro no trata de barberos, y ni siquiera trata mucho sobre Einstein. (Su nombre sólo aparece cuatro veces.) Es una obra de conversaciones científicas informales, de las del tipo que Einstein hubiera comentado con su barbero; cosas sencillas que podrían haber sido triviales para el gran científico, pero sobre las que el resto de nosotros nos preguntamos.

Hay muchos libros sobre «la ciencia es divertida» para jóvenes lectores. Pero no solamente los niños se preguntan por qué o cómo. La curiosidad no termina con la pubertad, ni termina la genuina diversión de comprender por qué las cosas ocurren. Y así, una vez hemos acabado de estudiar ciencia en el colegio, se encuentran pocos libros para gente de cualquier edad que simplemente sienten curiosidad sobre las cosas cotidianas que los rodean, y que obtienen placer al saber cómo funcionan. Este libro es de ese tipo.

Quizá esté convencido de que la ciencia no es divertida, de que es una materia inherentemente difícil, y de que si hiciera preguntas las respuestas serían demasiado técnicas y complicadas para poderlas comprender. Así que simplemente no pregunta. Quizá haya llegado a estas conclusiones a partir de experiencias desafortunadas en clases de ciencia en el colegio, o por noticias científicas en los periódicos, las revistas y la televisión. Estas noticias, por su propia naturaleza, son de tipo técnico y complicado, porque tratan sobre los descubrimientos más recientes de científicos punteros. Si no lo fueran, no serían noticia. No verá un programa especial de televisión sobre por qué el suelo del cuarto de baño está tan frío con los pies descalzos. Pero la explicación de dicho fenómeno es ciencia, tanto como una discusión sobre quarks o estrellas de neutrones.

La ciencia es todo lo que vemos, oímos y sentimos, y no hace falta ser Einstein o ni siquiera un científico para preguntarse por qué estamos viendo, oyendo y sintiendo esas cosas, porque en la mayoría de los casos las explicaciones son sorprendentemente simples e incluso divertidas.

Este no es un libro sobre hechos. Aquí no encontrará respuestas a preguntas del tipo de «¿quién descubrió...?», «¿cuál es el mayor...?», «¿cuántos... hay?» o «¿qué es un...?». Este no es el tipo de cosas que la gente normal se pregunta. Recopilaciones de respuestas sobre preguntas tan elucubradas pueden ayudar a ganar un concurso de televisión, pero claramente no satisfacen. El placer y la diversión no vienen de la mera afirmación de hechos, sino de explicaciones: explicaciones llanas, en lenguaje cotidiano, que nos hacen decir: «¡ Vaya! ¿Ese es todo el secreto?».

Hay alrededor de un centenar de preguntas concretas a las cuales se responde en este libro, pero eso en absoluto limita el número de cosas que realmente se explican. El mundo físico es un complejo entramado de sucesos, y nada ocurre por una simple y mera razón. En ciencia, cada respuesta descubre nuevas preguntas, y ninguna explicación puede estar completa.

De todas formas, he escrito cada unidad pregunta-respuesta de forma autocontenida, para que se pueda leer y comprender de manera independiente de las otras. Esto, inevitablemente, conduce a cierto solapamiento: una consecuencia lógica esencial no puede omitirse simplemente porque se trate con más detalle en otra parte del libro. Pero como todo profesor sabe, un poco de repetición nunca perjudica el proceso de aprendizaje.

En casos en los que otra unidad contenga información muy relacionada, se mencionará la página en la que aparece. De este modo, no es necesario leer el libro de forma secuencial. Puede leer cualquier unidad que lo atraiga en cualquier momento, pero no se sorprenda si siente la tentación de leer un entramado de unidades al seguir las referencias. Siga el juego. De esta manera, seguirá cadenas de pensamiento de forma secuencial, como si hubieran sido dispuestas (que el cielo me perdone) en un libro de texto, cosa que ni usted ni yo deseamos.

Ya conocemos esa experiencia, y en cuanto una explicación completa requiere un poco más de detalle de lo que está de humor para leer, el detalle se destierra a «El rincón del quisquilloso». Allí, puede continuar leyendo o simplemente saltar a otra pregunta: usted decide.

Me he esmerado en evitar el uso de términos científicos. Creo que cualquier concepto que puede ser comprendido debería ser explicable en lenguaje ordinario: para eso se inventó el lenguaje. Pero para su propia conveniencia, los científicos usan atajos científicos que yo llamo «jerga técnica». Cuando no se puede evitar una palabra de jerga técnica, o cuando es una palabra de la que puede haber oído y evitarla podría resultar rebuscado, la defino en lenguaje llano allí mismo. Encontrará definiciones de algunas palabras de jerga técnica al final del libro.

No supongo ningún conocimiento científico previo por parte del lector. Pero hay tres palabras de la jerga técnica que uso sin molestarme en definir las cada vez: átomo, molécula y electrón. Si no tiene muy claro si está familiarizado con estas palabras, revíselas en la lista al final del libro antes de empezar a leerlo.

Diseminada a lo largo del libro, encontrará una serie de secciones bajo el título de «Haga la prueba»: cosas divertidas que puede hacer en su propia casa para ilustrar los principios que se explican. También encontrará los apartados llamados «Apuesta de bar», que quizá le pueden hacer ganar una ronda en un bar o quizá no, pero que seguro pondrán en marcha una discusión animada.

Cuando Albert Einstein estaba en el Instituto de Estudios Avanzados de la

Universidad de Princeton, un ansioso reportero se le aproximó un día, libreta en mano.

—Bien, profesor Einstein, ¿qué hay de nuevo en la ciencia?— preguntó.

Einstein lo miró con sus ojos suaves y profundos y le contestó:

—Oh, ¿ya lo ha escrito todo sobre lo viejo de la ciencia?

Lo que Einstein quería decir es que la ciencia no sólo tiene que ser caracterizada por el último descubrimiento que llegue a los titulares. La observación científica ha existido desde hace siglos, y durante este tiempo hemos aprendido una gran cantidad de cosas sobre el mundo que nos rodea. Hay una vasta herencia de conocimiento que explica sucesos ordinarios y familiares.

Ésta es la «vieja ciencia»: la ciencia de cada día. De esto es de lo que va este libro.

Palabras clave

Las palabras que están definidas por separado aparecen en *cursiva*.

Aceleración Cualquier cambio en la velocidad o dirección de un objeto en movimiento. Puede ser un incremento de velocidad, un decremento de velocidad o cualquier desviación de una línea recta.

Átomo Una «pieza de montaje» de la que están hechas todas las sustancias. Cada átomo está compuesto de un núcleo extremadamente pequeño y pesado rodeado de cierto número de *electrones* que se arremolinan a su alrededor. Hay aproximadamente cien tipos distintos de átomos, distinguidos entre sí por el diferente número de electrones que contienen. Los átomos se unen en varias combinaciones para formar un vasto número de *moléculas* distintas, creando un gran número de sustancias diferentes con distintas propiedades.

Calor Una forma de energía que se manifiesta por el movimiento de *átomos* y de *moléculas*.

Densidad Una medida de lo pesada que es una cierta cantidad de una sustancia. Un litro de agua pesa 1 kilogramo. La densidad del oro es de 19 kilogramos por litro. La gente diría coloquialmente que el oro es «diecinueve veces más pesado» que el agua.

Dipolo Una *molécula* cuyos dos extremos están ligeramente cargados, uno positivamente y el otro negativamente. La molécula, por lo tanto, tiene dos polos eléctricos, análogos a los dos polos magnéticos de un imán. El agua es un ejemplo común. Los extremos con carga opuesta de las moléculas del agua se atraen mutuamente, haciendo que el agua sea difícil de hervir y evaporar en comparación con líquidos similares.

Electrolito Un líquido que conduce la electricidad porque contiene partículas cargadas eléctricamente (*iones*). El agua salada es el electrolito más común.

Electrón Una partícula diminuta cargada negativamente. Su hábitat nativo es en el exterior del núcleo de un *átomo*, pero los electrones se separan fácilmente de sus átomos y bajo la influencia de una tensión eléctrica se les puede hacer mover a través de un gas o un cable de metal de un lugar a otro.

Energía cinética La forma de energía que tiene un objeto en movimiento. Energía de movimiento.

Equilibrio Una situación en la que nada cambia porque todas las fuerzas están compensadas. En algunas situaciones de equilibrio puede que no veamos ningún cambio, pero molecularmente están teniendo lugar dos procesos opuestos en proporciones iguales.

Excitación Se dice que un *átomo* o *molécula* está excitado cuando ha recibido energía por encima de su estado normal de «reposo». Generalmente emitirá esa energía en exceso en un período muy corto de tiempo.

Fotón Una «partícula» de luz o de *radiación electromagnética* en general.

Gravitación o gravedad Una fuerza de atracción entre dos objetos cualesquiera que tengan *masa*. La fuerza de la atracción es proporcional a la cantidad de masa de los objetos y se hace más débil cuanto más separados están, en razón inversa al cuadrado de la distancia mutua. La Tierra tiene una masa enorme y, por lo tanto, es la principal fuente de atracción gravitatoria que experimentamos normalmente.

Halógeno Una familia de elementos químicos con propiedades similares. Los miembros de esta familia son el flúor, el cloro, el bromo, el yodo y el astato.

Ion Un *átomo* o grupo de átomos que ha adquirido una carga eléctrica al ganar o perder uno o más *electrones*.

Masa La cualidad de «pesadez» que tienen todas las cosas, todos los objetos, toda la materia, desde las partículas subatómicas hasta; las galaxias. Toda masa ejerce una fuerza atractiva *gravitatoria* sobre toda otra masa. El efecto de la fuerza gravitatoria de la Tierra sobre un objeto es el peso del mismo. Molécula Un conglomerado de átomos, todos unidos entre sí. Todas las sustancias están hechas de moléculas (excepto unas pocas que están hechas de átomos sueltos). Distintas sustancias tienen propiedades diferentes porque sus moléculas contienen conjuntos distintos de átomos unidos en diferentes disposiciones.

Momento Una medida de cuánto daño puede hacer un objeto en movimiento en una colisión con otro objeto. El momento es una combinación de la *masa* del objeto y de su velocidad. Cuanto más pesado es y más rápido se mueve, más momento tiene.

Núcleo El centro increíblemente diminuto e increíblemente pesado de un átomo. Son miles de veces más pesados que todos los electrones del *átomo* juntos.

Presión La cantidad de fuerza que se aplica a un área de una superficie. Todos los gases ejercen una presión sobre todas las superficies con las que están en contacto, porque sus *moléculas* se hallan en movimiento constante y están bombardeando la

superficie.

Presión de vapor En toda sustancia sólida o líquida, pero sobre todo en los líquidos, hay una cierta tendencia a que las *moléculas* se separen de sus compañeras y se escapen en forma de vapor. La fuerza de esa tendencia recibe el nombre de presión de vapor de la sustancia.

Puente de hidrógeno Una atracción débil entre ciertas *moléculas* que contienen átomos de hidrógeno. Los puentes de hidrógeno son muy importantes para la determinación de las propiedades únicas del agua y muchas sustancias químicas biológicamente importantes, incluido el ADN.

Quantum Una «pieza» de energía. La energía y el momento no son continuas, pero existen en diminutas y discretas cantidades llamadas *quanta* (plural de quantum).

Radiación electromagnética Pura energía en forma de onda, viajando a través del espacio a la velocidad de la luz. La energía de la radiación electromagnética se distribuye desde la baja energía de las ondas de radio hasta la alta energía de las microondas, los rayos de luz (visibles e invisibles), los rayos X y los rayos gamma.

Refracción El cambio de dirección de las ondas de luz o sonido cuando abandonan un medio (como el vidrio o el aire) para entrar en otro diferente en el que su velocidad es distinta.

Solubilidad La cualidad de disolverse o ser disuelto. Los químicos usan esta palabra para denotar la máxima cantidad de una sustancia que puede ser disuelta en un líquido en unas condiciones determinadas. La solubilidad de la sal de mesa (cloruro sódico) en el agua a 0 grados Celsius es de 357 gramos por litro.

Temperatura Un número que expresa la energía cinética media de las *moléculas* de una sustancia. Cuanto más caliente está una sustancia, más rápido se mueven sus moléculas.

Velocidad límite Una forma ostentosa de decir velocidad final. Cuando un objeto cae por el aire desde un lugar alto, caerá más y más rápido debido a la *aceleración de la gravedad* hasta que la resistencia del aire crezca lo suficiente como para parar la aceleración, después de lo cual el objeto caerá con la misma velocidad: habrá alcanzado la velocidad límite.

Vida media El tiempo que se necesita para que una cantidad de sustancia radiactiva disminuya a la mitad de esa cantidad. La cantidad disminuye porque los *átomos* de una sustancia radiactiva son inestables, y están convirtiéndose espontáneamente en

átomos de distinto tipo que son más estables.

Viscosidad El «grosor» de un líquido; su resistencia a fluir libremente. Como dice el refrán: «La sangre es más viscosa que el agua».

Capítulo 1. Moviendo y agitando

Todo está en movimiento

Puede estar sentado tranquilamente en su sillón, pero está lejos de encontrarse inmóvil. No quiero decir que su corazón esté latiendo, su sangre esté corriendo por sus venas y esté jadeando ante la perspectiva de aprender tantas cosas fascinantes de este libro. En pocas palabras, no quiero decir que esté física y mentalmente vivo.

Quiero decir que mientras se halla sentado ahí tan apaciblemente, la Tierra bajo sus pies está haciéndolo girar a 1.600 kilómetros por hora (la velocidad exacta depende del lugar en el que viva. Simultáneamente, la madre Tierra lo está transportando alrededor del Sol a 107.000 kilómetros por hora. Por no mencionar el hecho de que el sistema solar y todas las estrellas y galaxias en el Universo se están alejando las unas de las otras a velocidades increíbles y en todas las direcciones.

De acuerdo, ya sabía todo esto. Excepto quizá las velocidades exactas. Pero todavía no hemos terminado. Usted está hecho de moléculas. Y todas sus moléculas están vibrando y zarandeándose nerviosamente, suponiendo que su temperatura corporal se halle por encima del cero absoluto. También en movimiento están muchos de los átomos de los que están hechas sus moléculas, y los electrones de los que están hechos sus átomos, y los electrones, átomos y moléculas del resto de las cosas en el Universo. Todas fueron puestas en movimiento hace alrededor de 12.000 millones de años, y han seguido oscilando desde entonces. Así que, ¿qué es el movimiento?

En este capítulo veremos cómo de los caballos a los coches que aceleran, las ondas de sonido, las balas, los aviones y los satélites en órbita se mueven de un lugar a otro.

Cabalgando por la autopista

¿Porqué qué en algunos países algunos conducen por la izquierda y en otros por la derecha?

Todo se remonta al hecho de que la mayoría de los humanos son diestros. Mucho antes de la existencia de armas modernas como las pistolas y los automóviles, la gente tenía que combatir con sables y caballos. Si usted es diestro, llevará el sable colgado a la izquierda, para poderlo desenfundar rápidamente con su mano derecha. Pero con esa larga y colgante vaina entorpeciendo su lado izquierdo, la única forma de subirse a un caballo es pasando su pierna derecha, que queda más libre, por

encima del lomo. Y si no, es que está en una película de Mel Brooks y quiere acabar sentado mirando hacia atrás: esto significa que la cabeza del caballo ha de estar mirando a la izquierda. En la actualidad todavía se entrenan los caballos para ser ensillados y montados por su costado izquierdo.

Ahora que ya está montado, querrá permanecer en el lado izquierdo mientras empieza a avanzar por la carretera, porque cualquiera que venga hacia usted estará a su derecha, y si ese alguien resulta ser un enemigo, puede desenfundar la espada con su mano derecha y estar en disposición de darle su merecido a ese granuja. Así, los jinetes prudentes siempre han cabalgado por el lado izquierdo de la carretera.

Esta convención del lado izquierdo también era respetada por carruajes tirados por caballos, para evitar molestas colisiones con jinetes. Cuando los carros sin caballos aparecieron, algunos países continuaron con la costumbre, especialmente durante el período en el que ambos tipos de carruajes se disputaban la carretera. Entonces ¿por qué la gente conduce por la derecha en Estados Unidos y en muchos otros países? Cuando los sables siguieron los pasos de los arcos y las flechas y desaparecieron, la necesidad de defender el flanco derecho también desapareció, y de repente las reglas de tráfico tuvieron la libertad de escoger. Países más jóvenes o menos tradicionales migraron al lado derecho, aparentemente porque la mayoría de diestros se sienten más cómodos controlando el lado derecho de la carretera. Los zurdos pronto se dieron cuenta de que no era muy saludable discutir con ellos. Algunos países en los que he estado deben de tener una gran población de gente ambidiestra, porque parecen preferir el centro de la carretera.

Tréboles de cuatro hojas

¿Por qué las intersecciones de las autopistas y las autovías tienen que ser tan complicadas? ¿Por qué todos esos rizados y rampas?

Porque mejoran el tráfico de influencias, desde las compañías de construcción hasta las arcas de las campañas de los políticos. Perdón. Porque nos permiten hacer giros a la izquierda sin estrellarnos con el tráfico que viene en sentido contrario. Es una cuestión de simple geometría. Cuando se empezaron a construir las grandes autopistas, los ingenieros tuvieron que resolver la forma de permitir que los vehículos pasaran de una autopista a otra que la intersecta sin parar en semáforos. Puesto que conducimos por el lado derecho de la carretera, los giros a la derecha no plantean ningún problema; simplemente hay que desviarse por una rampa de salida. Pero un giro a la izquierda implica cruzar por encima de los carriles de sentido contrario, y eso puede causar conflictos que más vale imaginar que expresar.

Entre usted en el trébol: le permite girar 90 grados a la izquierda mediante un giro de 270 grados a la derecha. Piénselo: un círculo completo son 360 grados; un giro de 360 grados le devolvería a su dirección original. Si dos autopistas se intersectan en ángulo recto, un giro a la izquierda significa girar 90 grados a la izquierda. Pero conseguiría el mismo resultado haciendo tres giros a la derecha de 90 grados cada uno. Es lo mismo que ocurre cuando quiere girar a la izquierda en la ciudad y se encuentra un cartel de «prohibido girar a la izquierda». ¿Qué hace? Da tres giros alrededor de la siguiente manzana. Esto es lo que hace un rizo de una hoja de trébol; le hace dar tres cuartos de vuelta recorriendo 270 grados de circunferencia, guiándolo por encima o por debajo de los carriles de sentido opuesto.

Un cruce entre autopistas es un trébol de cuatro hojas, en lugar de dos o tres, porque hay cuatro direcciones distintas de tráfico yendo, por ejemplo, al norte, este, sur y oeste y cada una de ellas necesita hacer un giro a la izquierda.

Para los lectores de Gran Bretaña, Japón y otros países en los que se conduce por la izquierda, esto funciona al revés: deben intercambiar las palabras «derecha» e «izquierda» en los párrafos anteriores, y todo quedará del derecho. Es decir, del izquierdo. Ya me entiende.

Preparados, listos..., ¡salten!

Sí todos los chinos se subieran a una escalera de dos metros y saltasen al suelo todos al mismo tiempo, ¿podrían cambiar la órbita de la Tierra?

No, pero seguramente sería un golpe de fortuna para los podólogos chinos.

Supongo que todo el mundo escoge China cuando formula esta pregunta porque China es el país más poblado de la Tierra, con 2.500 millones de pies potencialmente escocidos. En realidad se trata de dos preguntas, aparte de por qué la gente que hace esta pregunta no tiene nada mejor que hacer (es broma: es divertido preguntarse este tipo de cosas)

La primera pregunta es lo fuerte que ese salto-porrazo sería y la segunda es si hay algún salto que pudiera cambiar la órbita de la Tierra. Es fácil calcular la cantidad de energía de una caída gravitatoria (y no me digan que no están cayendo porque China esté boca abajo). Suponiendo una población de 1.200 millones de chinos, con un peso medio de 68 kilogramos cada uno su salto colectivo golpearía el suelo con una energía de 1 6 billones de joules (un joule es simplemente una unidad de energía, no se preocupe). Esto es aproximadamente la cantidad de energía liberada en un terremoto de tamaño medio de 5 grados en la escala de Richter.

Tales terremotos han estado ocurriendo durante millones de años, y no hay evidencia de que hayan hecho variar la órbita de la Tierra. Pero la energía de ningún terremoto o «saltimoto» podría cambiar la órbita de todas formas, de modo que tanto los terremotos como las escaleras chinas son irrelevantes

El planeta Tierra continúa girando alrededor del Sol porque tiene una cierta cantidad de inercia, que significa que cuenta con una cierta cantidad de masa y una cierta velocidad, porque la inercia es una combinación de masa y velocidad. Nuestro planeta sigue su curso y con él todo lo que está adosado por la gravedad, incluidos chinos saltarines y acróbatas en trampolines. Todos estamos en un gran paquete de masa y ningún tipo de salto hacia arriba o hacia abajo puede cambiar la masa total de la Tierra. Ni tampoco puede cambiar la velocidad del planeta, porque todos los chinos son transportados por el espacio a la misma velocidad que el resto del planeta; todos estamos en una gran nave espacial interconectada. Usted no puede cambiar la velocidad de su coche a base de empujar en el parabrisas, ¿verdad? Ni tampoco puede levantarlo a base de empujar sobre el techo por dentro.

Podríamos ponerlo en los términos de la tercera ley de Newton, que ya debe haber oído un millón de veces (y volverá a oír de ella por poco que yo pueda): «Para cada acción hay una reacción igual y opuesta». Empuje una pared de ladrillos, y la pared devolverá el empuje. Si no lo hiciera, su mano atravesaría la pared. Cuando los chinos aterrizan, sus pies golpean el suelo con una determinada fuerza, pero al mismo tiempo el suelo golpea sus pies con la misma fuerza en la dirección opuesta.

De modo que

a) no hay ninguna fuerza neta que pudiera afectar el movimiento de nuestro planeta, y b) se hacen daño en los pies.

Salte..., ¡ya!

Si estoy en un ascensor y empieza a caer por el agujero, ¿puedo saltar hacia arriba en el último instante y cancelar el impacto?

Hum. No sé cuántas veces la pregunta ha pasado por las cabezas de pusilánimes en ascensores, o cuántas veces se ha planteado la pregunta a cada físico amigable del vecindario. Es fácil responder en una palabra (No), pero pensar sobre ella plantea un buen montón de cuestiones divertidas.

Primero, he aquí la respuesta rápida: su objetivo es llegar al final de la caída como una pluma, sin ninguna velocidad apreciable hacia abajo, ¿verdad? Esto significa que tiene que contrarrestar la velocidad de caída del ascensor saltando hacia arriba a la misma velocidad. El ascensor (y usted) podría estar cayendo a, digamos,

ochenta kilómetros por hora. ¿Puede usted saltar hacia arriba a una velocidad siquiera cercana? Los mejores jugadores de baloncesto pueden saltar a unos ocho kilómetros por hora. Fin de la respuesta rápida. Consideremos el instante justo antes de que le rompa el cable del ascensor. En el siglo XVII, mucho antes de la aparición de los ascensores, sir Isaac Newton (1642-1727) se dio cuenta de que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo, el segundo cuerpo ejerce una fuerza opuesta de igual magnitud sobre el primer cuerpo.

Hoy en día, esto se conoce como la tercera ley de Newton sobre el movimiento. Cuando está en el suelo de un ascensor y la gravedad (fuerza número uno) le tira hacia abajo contra el suelo, el suelo le tira hacia arriba con una fuerza igual (fuerza número dos). Por eso, la gravedad no vence y no le hace caer por el agujero del ascensor. Lo mismo ocurre con la cabina del ascensor; en este caso es el cable tirando hacia arriba el que contrarresta la gravedad que tira de la cabina hacia abajo. De modo que ni usted ni el ascensor caen por el agujero. Los dos se mueven hacia arriba o hacia abajo a una velocidad controlada por un motor que va desenroscando y enroscando lentamente el cable de un gran carrete en la parte superior del agujero.

Cuando el cable se parte, tanto la fuerza de tracción hacia arriba del cable como la de empuje hacia arriba del suelo desaparecen de repente, así que tanto usted como el ascensor están libres para sucumbir a la voluntad de la gravedad, y ambos empiezan a caer. Durante un instante, usted está flotando y sintiéndose «sin peso» porque el habitual empuje del suelo sobre sus pies ha desaparecido. Pero siguiendo a ese instante de feliz suspensión, la gravedad vence sobre usted y cae junto con el ascensor.



El rincón del quisquilloso

Sobre ese momento de ausencia de peso cuando el ascensor empieza a caer: obviamente, no ha perdido peso en realidad. La gravedad de la Tierra todavía le está tirando hacia abajo como siempre lo ha hecho, y la fuerza de ese tirón hacia abajo es lo que llamamos peso. Lo que ha perdido es el peso aparente. Su peso simplemente no es aparente porque no está sobre una báscula o un suelo que nota su presión y presiona en sentido contrario sobre sus pies.

Por supuesto, toda esta cuestión de caída de ascensores es hipotética puesto que los cables de ascensor no se rompen. E incluso si se rompieran, hay dispositivos de seguridad dotados de muelles que evitarían que la cabina cayese más de un par de metros. Pero, como prueban las montañas rusas, algunas personas parecen disfrutar de la contemplación del desastre inminente.

Si usted resulta ser uno de estos aficionados a las montañas rusas, esa sensación de «flotar» que nota cuando el vagón cae desde una de las cimas es exactamente lo mismo que sentiría en la caída de un ascensor. Esto recibe el nombre de caída libre.

Los astronautas en órbita también la sienten.

Neumáticos desgastados

Cuando las marcas de los neumáticos de mi coche se desgastan, ¿adonde ha ido a parar toda la goma?

Las marcas se han borrado y no, no es por eso por lo que se dice que los neumáticos son de goma. Los neumáticos se han ido desgastando sobre la carretera, esparciéndose en forma de fino polvo, sobre ese todo vasto y complejo que llamamos el entorno. Parte de ese polvo se ha eliminado con la lluvia y ha ido a parar a desagües, y parte se lo ha llevado el viento y más tarde ha sido depositado con la lluvia en todas las superficies.

Al final, toda la goma se ha reunido con la tierra y los mares como parte de la Tierra de la que nació. Como todo lo demás, un neumático muerto vuelve al polvo. Tendemos a pensar que los neumáticos de un automóvil ruedan suavemente, sin ningún tipo de arrastre contra la carretera que raspe la goma. Eso sólo podría ser cierto si no hubiese ningún tipo de resistencia entre la superficie del neumático y la de la carretera. Y de no haber resistencia, sus neumáticos no podrían agarrarse al suelo y no iría a ninguna parte. Obtendría una garantía espectacular sobre un juego de neumáticos de ese tipo, porque nunca se desgastarían.

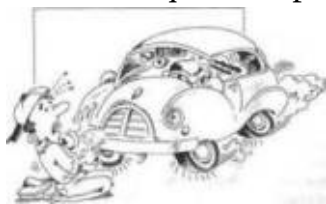
Entre dos superficies cualesquiera que intentan moverse una contra otra (incluso un neumático y una carretera), siempre hay alguna resistencia: se la llama fricción. Incluso las ruedas que giran experimentan fricción contra la carretera, aunque la fricción de rodaje es muy inferior a la fricción de deslizamiento. Cuando es necesario, usted puede empujar su coche hacia delante desde fuera y moverlo. Pero intente hacer lo mismo empujando por un lado: la fricción se engulle parte de la energía de movimiento y la expulsa en forma de calor. Si no hubiera disminución de movimiento por la conversión de parte de ese movimiento en calor de fricción, una máquina podría funcionar para siempre sin ralentizarse: movimiento perpetuo. Puesto que siempre ha de haber alguna pérdida por calor de fricción por pequeña que sea, todo dispositivo que alguna vez haya sido declarado como una máquina de movimiento perpetuo tiene que ser falso, por muy bienintencionado que sea su inventor.



Haga la prueba

Si usted no piensa que la fricción del neumático contra la carretera genera calor,

simplemente toque sus neumáticos antes y después de conducir durante una hora o más por la autopista. Gran parte del calor que notará viene de la fricción contra la carretera, aunque otra parte viene de la continua flexión y recuperación de la goma.



Por lo que respecta a la desaparición de las marcas de sus neumáticos: allá donde haya resistencia de fricción entre dos materiales, uno de ellos tiene que «dar», es decir, dejar que algunas de sus moléculas sean raspadas por las otras. Entre su suave neumático y la dura autopista, no hay duda sobre quién vence: es la goma la que cede y es raspada gradualmente en pequeñas partículas. Si todas nuestras carreteras estuvieran hechas de una sustancia más blanda que la goma, las carreteras se desgastarían en lugar de los neumáticos. En vez de esto, nuestra sociedad ha decidido que es menos problemático que los dueños de los coches reemplacen sus neumáticos, y no que los gobiernos estén continuamente reemplazando la superficie de las carreteras. Entonces ¿por qué —se podría preguntar— tenemos que sortear continuamente zonas de reconstrucción de carreteras? Por desgracia sólo puedo responder a preguntas científicas, no políticas. El chirrido de las ruedas en las persecuciones de automóviles en las películas es el resultado de la fricción por deslizamiento: goma raspándose, más que rodando, sobre el pavimento. A escala microscópica veríamos el neumático alternativamente agarrándose y resbalando miles de veces por segundo, produciendo una serie de chirriantes vibraciones que entran en el rango de frecuencias de un derrapaje. Es fácil ver que con todo este arrastre de fricción de goma contra la carretera, mucha goma será raspada. De hecho, la fricción genera suficiente calor como para derretir parte de la goma, que queda pintada en la carretera como una marca negra de derrapaje.

!? No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué son tan suaves los neumáticos de los coches de carreras? Se supone que necesitan toda la tracción posible.

Por eso es precisamente por lo que son suaves. Los neumáticos ordinarios desperdician mucho de su potencial de agarre al tener surcos, que actúan como desagües para canalizar lluvia y barro. Pero los coches de carreras compiten normalmente en buenas condiciones meteorológicas, de modo que no son necesarios los surcos para lluvia y barro. Son sólo espacio desperdiciado que se puede aprovechar mejor para añadir más goma de agarre a fin de mejorar los giros y el frenado. Para obtener aún más superficie de agarre con la carretera, los neumáticos son mucho más anchos que los de su coche familiar. Y se hacen de una goma más

blanda que se desgasta como loca sobre la pista. ¿Piensa que sus neumáticos no le duran lo suficiente? ¿Por qué cree que siempre están parando para cambiar los neumáticos?

Preparados, apunten, ¡fuego!

En las películas del Oeste, e incluso en muchas partes del mundo hoy en día, la gente dispara sus armas hacia el cielo como aviso o simplemente para hacer ruido en una fiesta. ¿Son peligrosas esas balas si golpean a alguien al caer?

Bastante peligrosas. Como veremos, los físicos nos dicen que, al golpear el suelo, la bala tendrá la misma velocidad que tenía cuando abandonó el cañón de la pistola, que puede ser de unos 1.100 a 1.300 kilómetros por hora. Pero eso no tiene en cuenta la resistencia del aire. Siendo más realistas, la velocidad de aterrizaje de una bala puede estar entre 160 y 240 kilómetros por hora. Eso es lo bastante rápido como para penetrar la piel humana, e incluso si no penetra aún puede hacer bastante daño. Pero intente explicar eso a los idiotas que disparan sus armas «inofensivamente» hacia el aire. Hay dos tipos de fuerzas que afectan a la velocidad de la bala en su recorrido ascendente y descendente: la gravedad y la resistencia del aire. Veamos primero los efectos de la gravedad, despreciando por completo la resistencia del aire. Será más fácil de entender el vuelo de la bala si lo consideramos a la inversa. Esto es, comenzaremos en el instante en el que la bala ha alcanzado el punto más alto de su vuelo y está empezando a caer hacia abajo. Entonces consideraremos su viaje hacia arriba y compararemos los dos. La gravedad es una fuerza que opera sobre un objeto que cae (y de hecho es lo que lo hace caer) al tirar de él, atrayéndolo hacia el centro de la Tierra, una dirección a la que llamamos «abajo». Siempre y cuando el objeto esté suspendido en el aire, la gravedad sigue tirando de él, apremiándolo para que caiga más y más deprisa. Cuanto más tiempo está cayendo, más tiempo tiene la gravedad para operar sobre el objeto, de modo que cae aún más rápido (enjerga técnica, acelera).

La fuerza del campo gravitatorio de la Tierra es tal que por cada segundo de atracción (es decir, por cada segundo en el que un objeto está cayendo) el objeto gana una velocidad adicional de 9,8 metros por segundo, o 35 kilómetros por hora. No importa cuál sea el objeto ni su peso, puesto que la intensidad del campo gravitatorio es una característica propia de la Tierra. Si cae durante diez segundos, su velocidad será de 350 kilómetros por hora, y así sucesivamente.

Pero la gravedad tiraba de la bala con la misma fuerza cuando estaba en su camino ascendente. Esto es lo que la ralentizó tanto como para que finalmente alcanzase una velocidad cero en la cima de su vuelo antes de empezar a caer. Por cada segundo en el que estaba en su camino ascendente, la atracción de la gravedad le quitaba 35 kilómetros por hora de velocidad. La cantidad total de velocidad sustraída durante el recorrido hacia arriba debe ser la misma que la velocidad recuperada en el camino de bajada, porque el efecto gravitatorio era el mismo durante todo el tiempo. Si esto no fuera cierto, la bala tendría que haber adquirido o perdido velocidad por otra fuerza externa. Y no había otra fuerza externa (excepto la resistencia del aire, y ya llegaremos a ello). De modo que vemos que lo que la gravedad quitó en el camino ascendente, lo devolvió en el camino descendente. Sobre la única base del efecto de la gravedad, entonces, la bala no tendría ni más ni menos velocidad al golpear el suelo que al salir del arma: su velocidad inicial (la velocidad con que se dispara la bala de un arma), y a esa velocidad golpeará el suelo.

...O a un transeúnte inocente.

Hasta el momento, habíamos ignorado el efecto ralentizador del aire. Como puede comprobarse sacando la mano por la ventana de un coche en marcha, cuanto más rápido se mueva el vehículo más intentará el aire resistir al avance. De modo que mientras nuestra bala cae más y más deprisa bajo la influencia de la gravedad, la resistencia del aire intenta frenarla más y más. Pronto, las dos fuerzas en conflicto se igualan y se cancelan mutuamente. Después de eso, el objeto no caerá más deprisa por más que siga cayendo. Habrá alcanzado lo que los físicos llaman la velocidad límite, que es lo mismo que velocidad final enjerga técnica. (Puesto que «velocidad límite» es un término tan impresionante, muchos estudiantes de física inocentes —yo fui uno— se llevan la impresión de que es un tipo de límite fundamental de la naturaleza, como la velocidad de la luz. Pero no hay nada sagrado o fijo sobre esta velocidad. La velocidad final de un objeto en caída simplemente depende de su tamaño y forma, y de cómo encara el aire. Si usted cae desde un avión, su velocidad límite será ciertamente mucho menor si lleva un paracaídas. Equipos de saltadores aéreos ajustan sus resistencias al aire haciendo sus cuerpos más compactos o más extensos, para poder reunirse a la misma velocidad límite y retozar juntos antes de abrir sus paracaídas.) Si un pistolero está lo bastante cerca de un blanco, no hay mucha ocasión para que la resistencia del aire ralentice la bala durante su corto vuelo. Incluso cuando una bala se dispara al aire, un objeto aerodinámico como la bala no sufre mucha resistencia del aire en su camino ascendente, porque apunta siempre hacia delante durante su recorrido. Pero durante su caída está probablemente tambaleándose, o incluso más probablemente cayendo con la base hacia abajo, puesto que ésa es la orientación más estable para un objeto con forma de bala. La resistencia del aire sobre una bala que se tambalea o cae con la base hacia abajo es bastante

mayor que en su vuelo aerodinámico, de modo que puede ser ralentizada sustancialmente en el camino de bajada y terminar con una velocidad bastante inferior a la velocidad inicial. Un experto calcula que una bala del calibre 22 con una velocidad de mordedura de 1.380 kilómetros por hora podría caer al suelo con una velocidad de entre 154 y 216 kilómetros por hora, dependiendo de cómo se tambalee. Ésa es una velocidad más que suficiente como para causar daño grave o letal en un campo de aterrizaje craneal.

Y por cierto, el idiota que dispara la bala no tiene muchas probabilidades de ser golpeado por ella, independientemente del cuidado que tenga en apuntar recto hacia arriba. En un experimento, de entre quinientas balas de ametralladora del calibre 30 disparadas hacia arriba, sólo cuatro aterrizaron en un área de tres metros cuadrados alrededor del arma. El viento hace un gran efecto, sobre todo porque las balas del calibre entre 22 y 30 pueden alcanzar altitudes de entre 1.200 y 2.400 metros antes de caer hacia abajo.

La guerra es... elegante

¿Por qué las armas hacen girar las balas?

Una bala que gira vuela más lejos y certera que si lo hiciera sin girar. Y si su deporte favorito es el fútbol americano en lugar del tiro con armas, prácticamente todo lo que voy a decir sobre balas giratorias también sirve para los pases en espiral. El hecho de que una bala o un balón de fútbol americano llegue más lejos si está girando puede sonar extraño, porque podría pensarse que el alcance depende sólo de la cantidad de energía que el proyectil adquiere de la carga de pólvora o del brazo del pasador. Pero las balas y los balones tienen que volar por el aire, y la resistencia del aire desempeña un papel importante en la trayectoria de cualquier proyectil, tanto si se dispara desde una pistola como desde un rifle, ametralladora, cañón o brazo.

Primero, veamos cómo un arma hace girar la bala. A lo largo del interior del cañón del arma hay unas ranuras en espiral. Cuando la bala pasa por el cañón, estas ranuras la hacen rotar para seguir la espiral. Algunas armas tienen ranuras que giran hacia la derecha y otras hacia la izquierda; no importa. (Y no, no giran de una manera en el hemisferio norte y de otra en el hemisferio sur. Las balas antiguas eran bolas redondas de plomo, como balas de cañón en miniatura.

Las balas con la forma actual (en jerga técnica, cilindroconoidales) fueron desarrolladas alrededor de 1825, cuando se descubrió que mantenían mejor su velocidad en el vuelo. Esto es porque para un peso determinado de plomo, una forma

alargada y con la punta afilada se encuentra con menos resistencia del aire que una bola redonda: es aerodinámica. Pero hay un problema con las balas alargadas que las balas esféricas no tienen. Cuando se dispara una bala alargada, cualquier pequeña irregularidad en su superficie puede atrapar el aire y moverla ligeramente hacia un lado, de forma que su morro ya no apunta hacia delante. Esa ligera desalineación aumenta la resistencia del aire en la parte delantera, lo que hace girar aún más la bala.

Pronto, la bala está tambaleándose de lado a lado, lo que causa aún más resistencia al aire, acortando gravemente su alcance y desviándola de su curso. De este modo, tanto la distancia como la precisión disminuyen. Y aquí es donde intervienen las ranuras en espiral. Si la bala está girando adecuadamente alrededor de su eje mientras vuela, resiste cualquier cambio en su orientación o dirección de vuelo. La razón es que un objeto pesado que gira tiene mucho impulso. No sólo tiene giro también tiene impulso rotacional, o lo que los físicos llaman momento angular. Y el impulso, tanto si es de inercia como angular, es difícil de contrariar. De hecho, el impulso de un objeto se mantendrá intacto hasta que sea molestado por una fuerza exterior (en jerga técnica, el momento se conserva). Por lo tanto, la bala giratoria mantendrá su impulso de giro rotando con el eje en la misma dirección a lo largo de toda su trayectoria, porque no hay una fuerza exterior que lo afecte. Esas pequeñas irregularidades en la superficie son ahora insignificantes comparadas con la cantidad sustancial de impulso de giro de la bala.

Con su morro apuntando hacia delante, el proyectil se encuentra con menos resistencia del aire y, por lo tanto, vuela más lejos y certero. Cuando finalmente golpea un objeto, su impulso, tanto lineal como de giro, no desaparecerá, sino que será transferido al desafortunado blanco, o en el caso de un balón de fútbol americano, al afortunado receptor. La ley internacional exige, de hecho, que las balas giren. En caso contrario, una bala que se tambalease podría golpear a su víctima de lado, haciendo más daño que si hubiera hecho un agujero bonito, limpio y redondo. Es una de esas delicadezas de la guerra: si vas a matar a alguien, por favor, hazlo limpiamente.

La Convención de Ginebra dicta ciertas otras delicadezas sobre cómo matar gente. Por ejemplo, puesto que el plomo es blando y deformable, puede chafarse cuando golpea su blanco, produciendo de nuevo un agujero muy poco estético. De modo que las balas deben ir cubiertas de un metal más duro, como el cobre. Los estatutos militares mundiales cumplen gustosamente con los requisitos, pero no es por motivos humanitarios. Es porque las armas militares modernas de asalto disparan sus balas a velocidades tan altas, que si no estuviesen recubiertas de cobre el plomo se derretiría de la fricción con el aire, haciéndolas volar erráticamente y errar el tiro. Al fin y al cabo, un agujero limpio y redondo en un enemigo es mucho mejor que ningún agujero.

¿? No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué el Llanero Solitario utiliza balas de plata?

Sirven sobre todo como una tarjeta de visita, pero sí que tienen una pequeña ventaja sobre las balas de plomo. Las balas ordinarias están hechas de plomo porque el plomo es muy pesado, o denso. Y es barato. Deseamos que una bala sea lo más pesada posible porque queremos que tenga la máxima energía posible para causar daño cuando alcance su blanco, y la energía es una combinación de masa y velocidad. (En jerga técnica, la energía cinética es directamente proporcional a la masa y al cuadrado de la velocidad.) Es más fácil ganar energía aumentando la masa de la bala que aumentando su velocidad, porque aumentar la velocidad requeriría un cañón más largo para dar más tiempo a los gases de la explosión para acelerar la bala. Una bala de plata es un 7,5% más ligera que una bala de plomo de la misma longitud y calibre. Puesto que una determinada carga de pólvora imparte la misma cantidad de energía a cualquier bala, la bala de plata, más ligera, debe moverse más rápido. Resulta ser un 4% más rápida que una bala de plomo. De modo que las balas del Llanero Solitario alcanzan sus blancos ligeramente antes que las de plomo. Si la velocidad de la bala es de 300 metros por segundo, y un forajido a quince metros está sacando su arma, la bala de plata da a nuestro héroe una ventaja de dos milisegundos: menos tiempo que el que Toro necesita para decir «¡Uf!». También, puesto que la plata es mucho más dura que el plomo, cuando el Llanero Solitario dispara contra el arma que empuña uno de los malos nunca dispara directamente al tipo! debe hacer realmente daño. Y cuando golpea, en lugar del sordo golpe del plomo, una bala de plata hace un gran sonido de «ping» para que lo capten los micrófonos que siempre parecen estar cerca.



Apuesta de bar

Las balas del Llanero Solitario vuelan más rápido que las de plomo.

Cómo parar un avión

Cuando un avión vuela por encima de nosotros, ¿cómo es que cuando camino en dirección opuesta parece que casi esté parado? Ciertamente, mi velocidad es insignificante comparada con la del avión, así que ¿cómo puede tener algún efecto?

Tanto si nos damos cuenta como si no, juzgamos el movimiento de un avión en el cielo por su relación con objetos comunes en el suelo, como árboles, postes de teléfono o casas. Esta es la única forma con la que podemos detectar el movimiento: en relación con otros objetos. No existe el movimiento absoluto: todo es relativo a otro objeto. De modo que cuanto más rápido parezca que el avión pasa por encima de los árboles y las casas, más rápido juzgamos que se mueve. Pero cuando usted mismo se mueve en relación con los árboles y las casas, altera esta simple asociación porque los árboles y las casas también parece que se están moviendo. Al caminar hacia delante, parece que se muevan hacia atrás, ¿verdad? Por supuesto, usted sabe que no se están moviendo realmente hacia atrás porque su padre se lo dijo cuando tenía dos años. De modo que cuando usted camina hacia delante (que confío que es su dirección habitual de locomoción), pero en dirección opuesta a la del avión, los árboles y las casas también parecen estar moviéndose hacia atrás con respecto a su dirección; esto es, parecen moverse en la misma dirección que el avión. Parece, entonces, que el avión y las casas se muevan juntos; el avión no parece que las adelante. Y cualquier avión que ni siquiera pueda adelantar una casa parecerá un avión muy lento. ¿Quiere hacerles un favor a los pasajeros y llevarlos antes a su destino? Simplemente camine en la misma dirección que el avión. Mientras los árboles y las casas «se mueven hacia atrás», parecerá como si el avión los está adelantando aún más rápido.

No se trata de Bernoulli

No puedo llegar a entender cómo pueden volar aviones tan enormes, aguantándose en el aire como si nada. ¿Cómo lo hacen?

Bienvenido al club. A pesar de que sé algo sobre cómo funciona el vuelo de aviones (y usted también, pronto), nunca deja de asombrarme. Recuerdo aterrizar después de un vuelo transatlántico en un Boeing 747 y ser dirigido por la tripulación para desembarcar directamente en tierra, para subirnos a un bus que esperaba en lugar de uno de esos tubos que entran directamente en el edificio. Miré con total incredulidad al monstruo de cuatrocientas toneladas que me acababa de hacer flotar a través del océano Atlántico a una altitud de más de ocho kilómetros por encima de la superficie terrestre. Mi sobrecogimiento aumentó por el hecho de que cuando me «enseñaron» lo que hace volar a un avión, quedé confundido. A pesar del hecho de que muchos manuales de aviación atribuyen la sustentación del avión a algo llamado principio de Bernoulli, ésta no es la razón principal por la que los aviones se

mantienen en el aire. Tan sólo resulta ser una explicación fácil y rápida, pero como todas las respuestas sencillas es engañosa, bordeando lo completamente (1). Primero, pongamos al matemático suizo Daniel Bernoulli (1700-1782) en el estrado de los testigos y veamos qué es lo que tiene que decir.

En 1738, Bernoulli descubrió que al aumentar la velocidad de un fluido en movimiento (líquido o gas), su presión en las superficies adyacentes disminuye. Por ejemplo, el aire que sopla como viento horizontal no tiene el tiempo o la energía, puede decirse, para apretar con mucha fuerza contra el suelo.

¿Cómo afecta esto a los aviones?

La superficie superior de un avión convencional está redondeada hacia arriba, mientras que la superficie inferior es relativamente plana. Al volar el avión, el aire pasa rápidamente por estas dos superficies. En su camino hacia el extremo trasero del ala, el aire en la superficie superior tiene más espacio que recorrer debido a la forma curvada del ala. Los defensores de la tesis «Bernoulli hace volar a los aviones» argumentan que el aire superior e inferior debe alcanzar la parte trasera del ala al mismo tiempo (esto recibe el nombre del supuesto del mismo tiempo de tránsito) y que como el aire de la parte superior debe recorrer más espacio, ha de moverse más deprisa.

De acuerdo con el señor Bernoulli, entonces, el aire más rápido de la parte superior ejerce menos presión en el ala que el aire más lento de la parte inferior, de modo que el ala es empujada hacia arriba por una fuerza neta llamada levantamiento.

Todo eso está muy bien excepto por una cuestión: el aire de la parte superior y el de la parte inferior no tienen que alcanzar el extremo trasero del ala al mismo tiempo; la asunción del mismo tiempo de tránsito es simplemente incorrecta, por mucho que muevan los brazos los profesores de física y los instructores de vuelo para intentar justificarlo. Usted y yo podemos olvidar nuestra vergüenza al no haber entendido nunca ese punto en el colegio. Simplemente no hay una buena razón por la que el aire de la parte superior tenga que llegar al extremo trasero del ala al mismo tiempo que el aire de la parte inferior. El efecto de Bernoulli sí que contribuye en algo de levantamiento al ala de un avión, pero por sí mismo requeriría un ala que o bien tuviese la forma de una ballena jorobada o bien viajase a una velocidad extremadamente alta.

Gracias, señor Bernoulli. Ya puede usted bajar del estrado. Llamamos ahora al señor Isaac Newton al estrado. Las tres leyes de Newton para el movimiento son el fundamento acorazado de nuestro entendimiento de cómo se mueven las cosas. La mecánica de Newton (a distinción de la mecánica cuántica y la relatividad) puede explicar el movimiento de cualquier objeto, siempre y cuando no sea demasiado pequeño (más pequeño que un átomo) ni se mueva demasiado rápido (cerca de la velocidad de la luz). Newton descubrió sus leyes para el movimiento de objetos

sólidos, pero también puede aplicarse a las interacciones entre las alas de los aviones y el aire. Veamos cómo. La tercera ley del movimiento de Newton (de nuevo) dice que para cada acción debe haber una reacción igual y opuesta. De modo que si el ala del avión está siendo empujada o levantada hacia arriba, entonces forzosamente otra cosa está siendo empujada hacia abajo. Lo está. El aire. El ala debe estar soplando una corriente de aire hacia abajo con una fuerza igual al levantamiento que está obteniendo.

¿Cómo?

Cuando un fluido como el agua o el aire fluye a lo largo de una superficie curvada, tiende a aferrarse a la superficie con más fuerza de la que uno se espera. Este fenómeno se conoce como el efecto de Coanda. (Vea la explicación en la página 213, pero en lugar de agua fluyendo sobre una superficie curvada de cristal, piense en aire fluyendo sobre el ala curvada de un avión.) Como efecto de este agarre, el flujo de aire sobre las superficies del ala está obligado a abrazar las formas del ala. El aire de la parte superior del ala se agarra a la superficie superior y el aire de la parte inferior del ala se agarra a la superficie inferior. Las corrientes no sólo toman diferentes caminos, sino que como consecuencia de la forma de las alas terminan por fluir en distintas direcciones en la parte trasera del ala. No es como si el ala estuviera simplemente cortando el aire como una cuchilla plana, apartando el aire para pasar y a continuación devolviéndolo a la posición original tras pasar el ala. Al encontrarse el aire de la parte superior del ala con el frontal del ala, primero fluye hacia arriba por la superficie y a continuación hacia abajo conforme abandona la parte trasera del ala. Pero la forma del ala lo lleva más abajo de donde comenzó: abandona el extremo trasero del ala en dirección descendente.

En otras palabras, el aire de la parte superior del ala está siendo realmente lanzado hacia abajo por la forma del ala. Y de acuerdo con la tercera ley de Newton, el ala es empujada, por lo tanto, hacia arriba con una cantidad de fuerza equivalente. ¡Voilà! ¡Levantamiento! ¿Piensa usted que esto sólo puede ser una pequeña cantidad de fuerza, viniendo como viene sólo de un golpe del aire? ¡Ja! Piénselo de nuevo. Incluso un avión pequeño como un Cessna 172 volando a 110 nudos (204 kilómetros por hora) está bombeando de tres a cinco toneladas de aire hacia abajo cada segundo. Piense en los cientos de miles de toneladas de aire que un Boeing 747 de 360.000 kilos está bombeando hacia abajo cada segundo para levantarse del suelo y mantenerse en el aire. Todavía podemos dar más reputación a Isaac Newton por levantar aviones, porque la sustentación no viene toda de este efecto (y de una ligera ayuda del señor Bernoulli). Parte de la sustentación viene de otra aplicación más de la tercera ley de Newton. Las alas de avión no son paralelas al suelo: están ligeramente inclinadas hacia arriba por delante, por lo general unos cuatro grados cuando el avión

está en vuelo horizontal. Esto genera más presión en la superficie inferior que en la superior, empujando el ala hacia arriba y contribuyendo al levantamiento (véase en el siguiente apartado). El piloto puede inclinar el avión aún más hacia arriba (en la jerga de la aviación, puede aumentar su ángulo de ataque) para obtener aún más levantamiento como consecuencia de este efecto. La tercera ley de sir Isaac entra en acción porque conforme se mueve el avión, el ala está empujando el aire hacia abajo, de modo que el aire responde empujando las alas hacia arriba. Vemos, entonces, que dos acciones diferentes de las alas levantan el avión: la forma del ala (la «superficie de sustentación») y su inclinación hacia arriba, o ángulo de ataque. Ambos efectos deben ser usados al máximo para conseguir levantar un avión pesado del suelo durante el despegue. Por eso se ven los aviones despegar de los aeropuertos con ángulos tan pronunciados; los pilotos tienen que aumentar el ángulo de ataque para obtener un levantamiento adicional mientras el avión está tan cargado de combustible, sin mencionar a la señora gorda en su asiento de al lado. Y usted pensaba que el piloto simplemente apuntaba el morro del avión en la dirección en la que quiere que vaya, como si fuera un caballo.

BONUS: ¿se ha preguntado alguna vez por qué los saltadores de esquí se inclinan tanto hacia delante cuando están en el aire que sus narices casi tocan la punta de sus esquís ? Dos razones. Primero, si se mantuviesen derechos encontrarían más resistencia del aire, lo cual los ralentizaría. Pero segundo, sus espaldas arqueadas simulan una superficie de sustentación. Sus superficies superiores están curvadas como el ala de un avión, y realmente obtienen algo de levantamiento que los mantiene más tiempo en el aire.

Volando boca abajo

Si las alas de un avión están diseñadas para levantarlo, ¿cómo puede volar boca abajo?

Puede hacerse para entusiasmar a la multitud durante un espectáculo aéreo, pero no funcionaría con un avión de pasajeros a París porque, aunque es teóricamente posible, los aviones de pasajeros no están contruidos para resistir el esfuerzo (ni tampoco los pasajeros). Las alas de un avión convencional están curvadas en la parte superior, y eso produce un levantamiento por razones que no son nada simples. Pero si el ala estuviera del revés, ¿no produciría esto el efecto opuesto, cambiando el «levantamiento» por una «caída»? Sí, si el piloto no estuviera parcialmente

compensando el efecto mediante el cambio del ángulo de ataque del avión, el ángulo con el que las alas chocan con el aire.



Haga la prueba

Saque la mano por la ventana de un coche que circule rápido, sin superar el límite legal de velocidad, por supuesto. Si mantiene la palma de la mano plana, paralela con el suelo, nota la presión del aire en lo que los pilotos llaman el borde de ataque de su mano (el borde del pulgar). Pero si entonces inclina su mano ligeramente hacia arriba de modo que su palma reciba la embestida del viento, su a la palma es empujada hacia arriba. Hay más empuje en la parte de abajo que en la de arriba, y esto hace levantar su mano, independientemente de la forma de su mano, o de un ala, siempre y cuando sea razonablemente plana. Así que al volar boca abajo, los pilotos acrobáticos apuntan su morro (o sea, el del avión) hacia arriba, de modo que la parte inferior de las alas, lo que era la parte superior, está recibiendo la embestida del viento y está siendo empujada hacia arriba. De hecho, los aviones acrobáticos ni siquiera tienen alas más curvadas en la parte superior; las superficies superior e inferior tienen la misma forma, de manera que no importa si está boca arriba o boca abajo: todo se obtiene por ángulo de ataque.



Como vio a partir de su experimento de «sacar la mano por la ventana», aumentar el ángulo de ataque produce no sólo empuje hacia arriba sino también arrastre: más resistencia del viento, intentando tirar de su mano hacia atrás. De modo similar, cuando el piloto aumenta su ángulo de ataque, el avión experimenta más arrastre contra el que los motores deben trabajar. Los aviones acrobáticos, por lo tanto, han de tener motores potentes, además de pilotos lo bastante chiflados. Bueno, chiflados pero astutos como zorros, porque se necesita mucha fuerza y presencia mental para pensar en tres dimensiones mientras estás sujeto a fuerzas que son ocho o diez veces más fuertes que la gravedad. Y los pilotos acrobáticos no están protegidos por «trajes g», esos trajes a presión que los pilotos de combate llevan para evitar que la sangre no les llegue al cerebro y se desmayen durante maniobras de alta aceleración. En cualquier caso, yo los miraré desde el suelo.

Cómo pierden peso los astronautas

¿Se agota la gravedad a cierta distancia de la Tierra? De lo contrario,

¿cómo pueden estar ingrávidos los astronautas en órbita?

Respuesta a la primera pregunta: no.

Respuesta a la segunda pregunta: no están ingrávidos.

Hay una razón completamente diferente por la que los astronautas pueden hacer todas estas tonterías para las cámaras, como volteretas en el aire o sentarse boca abajo o nada de nada, pareciendo más estúpidos que ingrávidos. La atracción gravitatoria de la Tierra, como toda atracción gravitatoria, tiene un alcance indefinido; se va haciendo más y más débil cuanto más se aleja uno, pero nunca disminuye hasta cero. Cada átomo en el Universo está tirando gravitatoriamente de cada uno de los demás átomos, no importa dónde estén. Pero por supuesto, cuanto más grande es la aglomeración de átomos, como un planeta o una estrella, más fuerte será su atracción acumulada.

Todo eso no importa, de todas formas, porque los miserables 400 kilómetros de altitud a los que el transbordador espacial va dando vueltas son despreciables con respecto al debilitamiento gravitatorio. Al fin y al cabo, la Tierra sujeta a la Luna bastante bien, ¿no? Y eso está a 385.000 kilómetros de distancia. (De acuerdo, la Luna tiene mucha más masa que un satélite artificial y la fuerza de atracción es proporcional a la masa, pero ya me entienden.) Si esos tipos flotantes no están ausentes de peso, ¿qué significa el peso entonces? El peso es la fuerza de atracción gravitatoria que la Tierra ejerce sobre un objeto. Puesto que esa fuerza disminuye cuanto más lejos esté el objeto del centro de la Tierra (véanse págs. 128 y 147), su «peso» también disminuye. Pero nunca hasta cero.

De acuerdo entonces. Si astronautas en órbita no están carentes de peso, ¿cómo es que pueden flotar por el transbordador? La respuesta es que su aún considerable peso es contrarrestado por otra cosa: una fuerza que viene de su velocidad orbital. (En jerga técnica, fuerza centrífuga.)



Haga la prueba

Ate firmemente una cuerda a una piedra y hágala girar en círculos (¡fuera de casa), manteniendo su mano lo más quieta posible. La piedra es el transbordador y su mano es la Tierra. ¿Por qué la piedra no sale volando? Porque gracias a la cuerda, usted está tirando de la piedra con exactamente la fuerza necesaria (una imitación de la fuerza gravitatoria) como para contrarrestar su tendencia a salir volando. Tire con menos fuerza (suelte un poco de cuerda) y la piedra saldrá despedida hacia fuera, más lejos de su mano. Tire con más fuerza estirando de la cuerda (imitando una atracción gravitatoria más fuerte) y la piedra «caerá» hacia dentro, donde está su mano.

Lo mismo ocurre con el transbordador espacial. El hecho de que el transbordador

continúe girando en un círculo estable en lugar de salir volando hacia el espacio, significa que su tendencia a escaparse de la Tierra está siendo exactamente contrarrestada por la atracción gravitatoria de la Tierra, que lo mantiene cerca. En otras palabras, la gravedad está haciendo «caer» continuamente al transbordador hacia la Tierra, justo lo suficiente como para evitar que se «eleve» por encima de ella (véase también el siguiente apartado).

Lo mismo les ocurre a los astronautas dentro del transbordador. Su tendencia a alejarse de la Tierra es exactamente contrarrestada por la atracción de la misma, de modo que ni se alejan ni caen hacia ella; quedan suspendidos en el aire, sin saber dónde está el arriba ni el abajo. Lo cual está perfectamente bien, porque no existe el «arriba». «Arriba» siempre ha significado «en dirección opuesta a la atracción gravitatoria», y la atracción gravitatoria ya no es discernible. Por eso es tan divertido para ellos posar para la cámara boca abajo. Dicho sea de paso, el hecho de que la fuerza gravitatoria de la Tierra sea contrarrestada por la fuerza centrífuga de los astronautas no los libra por completo de los efectos de la gravedad.

Es sólo la gravedad de la Tierra la que está siendo contrarrestada. La Luna, los planetas, el transbordador y los mismos astronautas todavía se atraen los unos a los otros porque todos tienen masa. Pero puesto que la Luna y los planetas están tan lejos, y puesto que los astronautas y sus equipos no tienen demasiada masa, todos esos efectos gravitatorios no llegan a mucho. De todas formas todavía están ahí, y por eso los científicos espaciales nunca hablan de gravedad cero; dicen que los astronautas están operando en un entorno de microgravedad.

¡Arriba, arriba... y a dar vueltas!

¿Cuán alto debe subir un cohete para poder girar alrededor de la Tierra?

No se trata de altura: se trata de velocidad. Hay una cierta velocidad llamada velocidad de escape, que un objeto debe conseguir antes de que pueda dar vueltas alrededor de la Tierra en una órbita estable sin caer.

Déjeme que lo lleve a un partido de béisbol.

Suponga que un jugador intenta hacer un pase directo desde el extremo más lejano del campo al catcher en el centro del campo. Puesto que el catcher se encuentra muy lejos, deberá efectuar un lanzamiento muy potente. Lanzará la bola horizontalmente o ligeramente por encima de la horizontal, directamente hacia el catcher. Si no hubiera gravedad (ni resistencia del aire) la bola continuaría en línea

recta para siempre. O como dijo Isaac Newton en su primera ley del movimiento: «Un objeto continuará moviéndose en línea recta a velocidad constante a no ser que otra fuerza le haga la puñeta» (quizá no lo dijo exactamente de esa manera). Pero en este caso hay otra fuerza, la gravedad, que tira la pelota continuamente hacia abajo, tanto si se mueve como si no.

La combinación del movimiento horizontal del lanzamiento y del movimiento vertical de la gravedad resulta en una trayectoria curvada de la pelota.

Por desgracia, pocos jugadores de béisbol pueden lanzar una pelota tan rápido y lejos, de modo que la pelota tocará el suelo mucho antes del catcher. Ahora pidámosle a Superman que tire una pelota horizontalmente sobre el océano Pacífico (y de nuevo ignoraremos la resistencia del aire). Si lanza la pelota a, pongamos, 1.600 kilómetros por hora, su recorrido curvo será mucho más largo que en el caso del jugador de béisbol, pero tarde o temprano la gravedad será capaz de hacer caer la pelota, quizá después de unos cuantos kilómetros. Avergonzado por el pobre resultado, nuestro héroe toma carrerilla y lanza otra pelota de béisbol sobre el océano a 40.000 kilómetros por hora. Esta vez, la trayectoria de la pelota es una curva tan abierta y plana que se corresponde con la curvatura de la superficie de la Tierra, de modo que sigue moviéndose a una altura constante por encima de la superficie y nunca cae al suelo. Ha entrado en órbita.

Así que, ya ven, poner en órbita una pelota de béisbol o un satélite es puramente una cuestión de lanzarlos o dispararlos con la suficiente velocidad para que su trayectoria se corresponda con la curvatura de la Tierra. Esa velocidad, la velocidad de escape, es de 11,2 kilómetros por segundo, o justo unos 40.000 kilómetros por hora. A cualquier velocidad inferior a ésta, la gravedad traerá el objeto al suelo antes de que haya dado una vuelta a la Tierra. A cualquier velocidad superior a ésta, el objeto todavía seguirá en órbita, pero alcanzará mayor altura antes de que la gravedad venza y tuerza su trayectoria a la curvatura de la Tierra. De forma muy real, la pelota de béisbol en órbita nunca para de intentar caer al suelo; lo único que pasa es que se mueve lo bastante rápido «hacia fuera» como para contrarrestar la atracción gravitatoria hacia dentro. Por eso, los físicos y científicos espaciales dicen que un satélite en órbita o el transbordador espacial está en una caída libre continua, cayendo libremente hacia el centro de la Tierra, como si hubiera sido lanzado desde cierta altura. Y por eso los astronautas dentro del transbordador en órbita flotan libremente en el aire, tal como lo harían si estuvieran en un ascensor que cae porque su cable se ha roto.

 **No lo ha preguntado, pero...**

Si la Tierra da vueltas, ¿por qué la atmósfera no sale volando al

espacio?

Para poder abandonar el planeta, el aire, igual que cualquier otra cosa, debería moverse a una velocidad igual a la velocidad de escape. Eso equivaldría a un viento enorme. Aunque el movimiento de la Tierra sí afecte a los vientos, el efecto no es ni de lejos lo bastante grande como para que soplen a la velocidad de escape. Algunas moléculas individuales de aire pueden alcanzar la velocidad de escape, de todas formas, y algunos de los átomos más ligeros como el hidrógeno y el helio realmente entran en órbita en la parte más alta de la atmósfera.

Espiando en el lago

A veces, cuando estoy en mi cabaña en el borde de un lago por la noche, puedo oír auténticas conversaciones de gente en la costa de enfrente, a pesar de estar a un kilómetro o más de distancia. ¿Cómo es posible?

Es como si el lago amplificase el sonido en cierto modo, ¿verdad? Pero no está realmente amplificando el sonido como lo harían un micrófono y un sistema de amplificación; simplemente es que más parte del sonido está siendo canalizada hacia sus oídos. El sonido consiste en vibraciones en el aire. El tipo al otro lado del lago emite sonidos al hacer pasar el aire de sus pulmones por sus cuerdas vocales, que las hace vibrar. Ellas, a su vez, hacen vibrar el aire que sale por su boca. Moldea esas vibraciones en forma de palabras con sus labios y lengua, y las vibraciones modificadas son transmitidas a través del aire hacia usted como ondas de presión de aire, similares a las ondas que se mueven a lo largo de la superficie del agua. Como puede ver tirando una piedra a una balsa tranquila de agua, las ondas de agua se dispersan uniformemente en todas direcciones.

Lo mismo ocurre con las ondas de sonido, pero en tres dimensiones; se dispersan a través del aire en todas direcciones: arriba, abajo, norte, este, sur y oeste. Naturalmente, cuando usted está a cierta distancia del interlocutor es capaz de oír (es decir, sus orejas interceptan) sólo una pequeña fracción de las ondas que se dispersan. Cuanto más lejos se encuentre, más pequeña será la fracción del total de energía sonora que sus oídos serán capaces de interceptar, puesto que la mayor parte de ella se ha ido en otras direcciones, y cuanto más lejos esté, más «otras direcciones» hay. A un kilómetro de distancia, la fracción que llega a sus oídos es generalmente tan pequeña que no puede oír al tipo en absoluto si está hablando a un nivel normal de conversación.

El efecto inusual que usted está describiendo tiene que ver con el hecho de que el sonido viaja ligeramente más deprisa por el aire caliente que por el aire frío. Esto se debe a que las moléculas pueden transmitir vibraciones sólo colisionando las unas con las otras, y las moléculas calientes colisionan más a menudo porque se mueven más deprisa. De modo que tenemos que observar más de cerca la temperatura del aire encima del lago, para ver qué efectos de la temperatura puede haber y cómo pueden afectar el sonido.

Durante el día, el sol ha estado calentando el aire y el agua. Pero comparada con el aire, el agua es muy difícil de calentar, de modo que el agua ha quedado más fría que el aire. (Puede incluso que usted haya saltado al lago para refrescarse, ¿verdad?) El agua fresca enfría la capa de aire inmediatamente encima de ella, de manera que ahora hay una capa de aire frío por debajo de las capas superiores de aire más caliente. Y si no hay viento para mezclar las capas de aire, se quedarán así por la noche.

Usted, al borde del lago, se encuentra más bien en la capa fría. El sonido que viene del bocazas del otro lado del lago viaja principalmente por la capa superior más caliente, pero cuando lo alcanza a usted encuentra aire más fresco y se ralentiza. Esta repentina ralentización de las ondas sonoras las hace doblarse hacia abajo; son refractadas, igual que las ondas de luz son dobladas hacia abajo cuando son ralentizadas al pasar del aire al agua. Puede verlo como que las ondas superiores y más rápidas adelantan a las ondas inferiores y más lentas, y tropiezan con ellas de modo que el sonido se vierte hacia abajo.

De esta manera, un número inusual de ondas de sonido se dirigen hacia abajo a sus oídos y oye más de lo que tiene «derecho» a oír, basándose solamente en su distancia. Por supuesto, esto funciona en ambos sentidos. Así que cuando esté sentado en el porche de su cabaña durante las primeras horas del anochecer de un día tranquilo de verano, tenga cuidado con lo que dice, sobre todo acerca de ese idiota del otro lado del lago.

¡Oiga rápido!

Si pudiera conducir mi coche más rápido que la velocidad del sonido, ¿todavía podría oír la radio?

Tal como insinúa la pregunta, esto se trata puramente de un ejercicio de «¿qué pasaría si...?». Los automóviles, por supuesto, no se construyen con la suficiente robustez ni aerodinámica como para superar la velocidad del sonido o como para

soportar el esfuerzo físico de la barrera del sonido. Pero es divertido pensar sobre ello.

La respuesta es simple: sí.

O bien podría haber planteado una pregunta diferente que hubiera zanjado el asunto: en el avión supersónico Concorde, ¿pueden conversar los pasajeros? A esos precios, más les vale. Pero ¿cómo, si están viajando más rápido que el sonido?

Incluso si usted estuviera conduciendo más rápido que la velocidad del sonido, está en un coche y la radio y sus aterrados pasajeros estarían todos moviéndose a exactamente la misma velocidad relativa con respecto al paisaje. Por decirlo de alguna manera, están todos en el mismo barco. En lo que concierne al sonido, lo importante es darse cuenta de que usted y la radio y el aire que hay en medio no se están moviendo el uno respecto al otro} la radio tiene la misma relación espacial con usted que si el coche estuviera quieto. Emite ondas de sonido a través del aire del coche a sus oídos con la velocidad del sonido como si nada inusual estuviera ocurriendo, puesto que dentro del coche nada inusual está ocurriendo. De hecho, si el velocímetro y las ventanas se cubriesen (Dios lo ayude), no podría ni siquiera saber que se está moviendo excepto por el ruido y la vibración del viento y las ruedas.

¿Y qué pasaría si estuviera conduciendo un coche descapotable supersónico sin parabrisas y el altavoz de la radio estuviera en la parte trasera? ¿Todavía podría oírla? No. Ni siquiera considerando los efectos del viento en sus pobres y maltratadas orejas y cerebro sería capaz de oír la radio. Las ondas de sonido del altavoz están siendo transmitidas por el aire hacia usted a la velocidad del sonido, pero el aire mismo (el medio de transmisión para el sonido) se está moviendo hacia atrás aún más rápido. De modo que el sonido nunca lo alcanzará. El sonido es como un barco de remos remando corriente arriba más lento que el agua que fluye corriente abajo.

Por cierto, la radio recibe sus señales mediante ondas de radio, no ondas de sonido, y las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, que es un millón de veces más rápida que la velocidad del sonido. Así que cualquier movimiento de su coche claramente no va a tener ningún efecto en la capacidad de la radio para sonar. Pero ¿qué hay de los sonidos que emite su coche? ¿Qué oíría una vaca junto a la carretera? (Espero que no esté haciendo esto por las calles de la ciudad.) Los sonidos que emite su coche, ya sean de la radio, ruedas, motor o gritos de los pasajeros, están siendo enviados en todas direcciones a la velocidad del sonido. Pero se está usted acercando a la vaca más rápido que eso: está realmente adelantando su propio sonido. Conforme su coche se acerca a la vaca, ella no puede oír nada de los ruidos del coche que lo persiguen hasta justo después de que pase, momento en el que oírás un boom sónico y todo el ruido del coche. Observe que si está adelantando al sonido no será capaz de oír nada que venga detrás de usted, porque esos sonidos no pueden atraparlo. Por eso puede ver las luces intermitentes de ese coche de policía que lo persigue, pero no

puede oír la sirena. Aunque dudo que el agente acepte eso como excusa.

Capítulo 2. ¡Veo, veo!

Y Dios dijo: «Hágase la radiación ultravioleta, visible e infrarroja».

Bueno, quizá ésa no sea una cita exacta, pero realmente fue una buena decisión. La Bombilla del Señor, el Sol, es la fuente no sólo de luz, sino de toda la energía que usamos en la Tierra, con la excepción de la energía de los reactores nucleares, que los humanos inventaron en 1942, y la propia energía calorífica de las profundidades de la Tierra, que sólo ahora estamos empezando a aprovechar para finalidades prácticas.

Pero el papel más aparente que el viejo Sol desempeña —el único, de hecho, en el que la mayoría de la gente se ha parado a pensar —es el de suministrar la luz con la que vemos, la luz purificadora del día que hace brillar e ilumina toda la Tierra. Cuando cualquier luz —solar o artificial— alcanza un objeto, parte de ella rebota (es reflejada), parte de ella es absorbida y transformada en calor, y parte de ella puede incluso atravesar el objeto, como es el caso —afortunadamente— del aire, el agua y el vidrio.

Este capítulo es una biografía de la luz: de qué está hecha, de dónde viene y adonde va a esa increíble velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, y cómo puede entretenernos, embaucarnos y quemarnos. Al seguir esta senda de iluminación tendremos ocasión de jugar en la nieve, ir al cine, ver la tele con una lupa, refrescarnos con un ventilador, hacer tonterías con espejos e incluso comer unos cuantos caramelos que hacen chispas en la oscuridad.

Más brillante que el brillo

Esos colores fluorescentes... ¡son irreales! ¿Cómo pueden brillar más que ninguna otra cosa? Parece que realmente estén generando su propia luz.

Lo están.

En un objeto de colores fluorescentes hay un producto químico que toma radiación invisible ultravioleta de la luz diurna y la convierte en luz visible del mismo color que el objeto. De este modo, el objeto no sólo está reflejando su cantidad normal de luz coloreada, sino que también está emitiendo activamente luz del mismo color, lo que lo hace parecer «doblemente coloreado» y hasta cuatro veces más brillante. La Day-Glo Color Corporation of Cleveland es uno de los principales

fabricantes de lo que se llama pigmentos fluorescentes a la luz diurna. Como principal proveedor mundial, fabrica una docena de colores, desde el rosa aurora hasta el amarillo Saturno. Vende los pigmentos a compañías que los ponen en todo tipo de objetos, desde chalecos de seguridad y conos de tráfico naranja hasta pelotas de tenis y golf amarillas, pasando por rotuladores marcadores. Lo que está ocurriendo es la fluorescencia, un proceso natural por el que ciertos tipos de moléculas absorben la radiación de una energía y la reemiten como radiación de otra energía más baja. Las moléculas en el pigmento están absorbiendo radiación ultravioleta, un tipo de radiación de onda corta que el ojo humano no puede ver, y la reemiten como luz de mayor longitud de onda que el ojo humano puede ver. La radiación está siendo, en efecto, desplazada de lo invisible a lo visible.

¿ Cómo absorben y reemiten la radiación las moléculas ?

Las moléculas contienen grandes cantidades de electrones con ciertas cantidades específicas de energía características de esa molécula en particular. Pero esos electrones siempre están deseosos de obtener ciertas cantidades de energía adicional del exterior. (Para más información, encuéntreme en «El rincón del quisquilloso».) Una molécula de un pigmento típico puede contener cientos de electrones arremolinados con varios niveles de energía. Cuando una bala de radiación ultravioleta (enjerga técnica, un fotón; toca a una de estas moléculas, puede hacer saltar uno de estos electrones a energías más altas. (Enjerga técnica, los electrones son excitados; en serio, así es como los científicos lo llaman.) Pero sólo pueden aguantar su exceso de energía por unas pocas milmillonésimas de segundo (unos pocos nanosegundos) antes de escupirlo de nuevo como energía —generalmente como varios fotones de energías más bajas o longitudes de onda más bajas—. Es como escupir perdigones después de haber parado una bala. Ahora los «perdigones» de radiación, teniendo menos energía que la radiación ultravioleta, caen en la región de energía que el ojo humano puede ver: luz coloreada. El resultado neto es que la molécula del pigmento ha absorbido radiación invisible y la ha reemitido como radiación visible. Siempre que las moléculas del pigmento estén expuestas a radiación ultravioleta —y la luz diurna contiene mucha—, estarán absorbiéndola y emitiendo luz de un color visible. Si el pigmento resulta ser de color naranja al principio y la luz emitida también es naranja, el objeto teñido será de un súper-naranja sobrenatural, más naranja de lo que se pensaría que tiene derecho a ser.

Haga la prueba

Ilumine con una lámpara ultravioleta —también llamada lámpara de luz negra— un objeto fluorescente, como un papel con varias trazas de marcador fluorescente o, si es usted uno de esos que las llevan, una camiseta fluorescente. El tinte fluorescente brillará mucho más que a la luz del día porque la lámpara le da mucha más radiación

ultravioleta. Si no quiere comprar una bombilla ultravioleta, lleve su papel marcado o camiseta a una de esas tiendas cutres que venden regalos de mal gusto y pósteres fluorescentes, y use su luz negra gratis.



Por cierto, si usa usted un marcador fluorescente amarillo sobre sus libros o sus apuntes, recuerde que brilla más a la luz del día, que contiene mucho ultravioleta.

Las bombillas incandescentes normales de casa dan muy poca luz ultravioleta; es más, su luz es algo amarillenta, y eso camufla el color amarillo del marcador.

De modo que cuando esté revisando su libro o sus apuntes marcados a la luz de una lámpara la noche antes de un examen, puede encontrarse para su disgusto con que sus marcas son bastante invisibles. Es más seguro usar un marcador de colores más fuertes: naranja, verde o azul, tanto si son fluorescentes como si no. En mi trabajo como profesor, prácticamente la única excusa que no he oído de un estudiante que hizo un mal examen es que le desaparecieran las marcas de sus apuntes.

!? No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué una camiseta blanca brilla más bajo la «luz negra»?

Se trata del mismo fenómeno de fluorescencia que los colores fluorescentes. La mayoría de detergentes para la ropa contienen «abrillantadores» que absorben la radiación ultravioleta de la luz diurna y reemiten la energía como una luz azulada que hace que la camiseta parezca «más blanca y brillante». Es más, el azul cancela cualquier rastro amarillento. Al ser estimulada por una lámpara ultravioleta, que es aún más rica en radiación ultravioleta que la luz diurna, la fluorescencia se vuelve lo bastante brillante como para que parezca brillar en la oscuridad.

!? Tampoco lo ha preguntado, pero...

¿Cómo funcionan esos palitos luminosos?

¿Quiere usted decir esas varitas de plástico llenas de sustancias químicas líquidas que están hechas por Omniglow y otras compañías y se venden en las ferias callejeras, festivales y conciertos, y que empiezan a brillar con luz verde, amarilla o azul cuando uno las dobla, y que van perdiendo su luz gradualmente una hora

después? Pues nunca he oído hablar de ellas.

De acuerdo, ahora en serio.

Por ahora ya sabe usted que un tinte fluorescente necesita ser estimulado absorbiendo energía antes de que pueda reemitirla como luz visible. Pero la energía estimulante no tiene por qué ser luz visible o radiación ultravioleta; también puede ser energía calorífica, eléctrica o química. En el caso de los palitos de luz, la energía estimulante es química. Al doblar el palito, se rompe una delgada cápsula de cristal que contiene un producto químico, generalmente peróxido de hidrógeno, que reacciona con otro producto químico en el tubo. La reacción genera energía, que es tomada por el tinte fluorescente y reemitida como luz. Conforme la reacción química se extingue gradualmente al agotarse los productos químicos, la luz se desvanece.



El rincón del quisquilloso

En varios puntos de este libro hablo de que una sustancia absorbe ciertos colores o longitudes de onda de luz. Puede estar preguntándose cómo absorben luz realmente las moléculas, y qué determina qué longitudes de onda absorben. Si ese problema no lo mantiene despierto por la noche, los Rincones del Quisquilloso estén diseñados para que pueda saltárselos. Una molécula tiene la custodia de todos los electrones que pertenecen a los átomos que la componen. (Las moléculas no son más que átomos pegados los unos a los otros.) Pero los electrones (y para este respecto todas las partículas subatómicas), tienen una propiedad peculiar: sólo pueden tener ciertas cantidades de energía y no otras. (En jerga técnica, las energías de los electrones están cuantizadas.) Por ejemplo, los electrones en cierto tipo de molécula pueden tener energías A, B, C o D, etc., pero nunca A y medio o C y dos tercios. Pueden cambiar sus energías entre los valores de A, B, C, D —es decir, de A a B o de D a C, y así sucesivamente— pero nunca pueden tener valores intermedios. Nadie puede darle una razón de por qué esto es así; simplemente es así. Cuando se baja al nivel de cosas más pequeñas que un átomo, es un mundo diferente del que vemos diariamente aquí arriba. Ahora en tanto cada determinada sustancia está formada por unas determinadas moléculas, tendrá su propia colección única de electrones con su único juego de energías permitidas. Cuando la energía de la luz toca esa sustancia, sus electrones absorberán sólo esas energías que corresponden a los saltos de energía permitida de A a B o C, etc. Rechazará y reflejará el resto. Esto significa que la sustancia está realmente escogiendo las energías de luz (longitudes de onda) que prefiere, dejando que las otras reboten como luz reflejada. Y es por eso por lo que cada sustancia tiene su propio color: el color de esas longitudes de onda que no puede absorber y que refleja de vuelta para que nuestros ojos las puedan ver.

Blancanieves y los siete colores

¿Por qué la nieve es blanca? Está compuesta de agua, y el agua no tiene color. Así que ¿cómo es que se vuelve blanca cuando se heló?

Primero, tenemos que ver qué es el «blanco». Ha oído decir a la gente docenas de veces que la luz blanca es la presencia de todos los colores. Pero otras personas le dicen que el blanco no es ningún color, que es la ausencia de color. Usted usa lejía para eliminar el color de la ropa y hacerla blanca, ¿verdad? Así que, ¿cómo puede ser el blanco al mismo tiempo todos los colores y ninguno? La respuesta es que estos dos grupos de gente bien intencionada están hablando de dos cosas diferentes: luz blanca y objetos blancos.

La luz blanca, tal y como nos llega del Sol, es en efecto una mezcla de todos los colores posibles —todas las longitudes de onda posibles—. Puesto que «crecimos» como especie con la luz solar como nuestra luz natural, neutra y diaria, llamamos «blanco» a la luz sin un color específico. Pero en 1666 sir Isaac Newton descubrió que esta luz neutra puede ser descompuesta en un arco iris de colores que la componen, simplemente haciéndola pasar a través de un bloque triangular de cristal —un prisma triangular—. Entonces se probó a sí mismo que todos esos colores estaban ciertamente presentes en la luz blanca original, al recombinarlos: proyectó sobre una pared dos arcos iris superpuestos y vio que se combinaban para formar luz blanca. Newton pensó que sería buena idea dividir todo el arco iris o espectro de colores (e inventó la palabra espectro para la ocasión) en siete categorías que serían análogas a los siete tonos musicales en una octava.

Para sus categorías de color, escogió rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta. Por desgracia, más de tres siglos después todavía se nos enseña en el colegio que éstos son «los siete colores del arco iris» a pesar de que nadie parezca saber lo que es el «añil»—. Sir Isaac tuvo que chapucear un poco para ajustar los siete nombres de colores. En realidad, hay un número infinito de colores —tanto visibles como invisibles al ojo humano— en la luz solar, tanto como hay un número infinito de tonos musicales posibles. Cambie la longitud de onda o sonido en una cantidad infinitesimal y tendrá un flamante nuevo color o tono, independientemente de que los humanos podamos detectar la diferencia o no. Por ejemplo, hay docenas de diferentes tonos que agrupamos bajo el término «rojo», limitados sólo por la habilidad de nuestros ojos para distinguirlos. Se dice que el ojo humano puede distinguir tantos como 350.000 diferentes tonos de color (yo me pregunto, ¿los ojos de quién?). Un objeto blanco, a diferencia de la luz blanca, es blanco porque cuando la luz cae sobre él, refleja todos esos millones de colores hacia nuestros ojos de forma homogénea, sin cambiar para nada la composición de la mezcla. Sus moléculas resultan no absorber

luz visible, de modo que parece ser del mismo «color» que la luz que cayó sobre él: lo que hemos elegido llamar «blanco». El objeto no contribuye con ningún color propio. Pero los objetos coloreados están ciertamente contribuyendo con colores propios. Sus moléculas están absorbiendo y reteniendo selectivamente ciertos colores de la luz solar, reflejando los otros como una mezcla alterada.

Piense en un actor sobre el escenario, llevando una capa roja sobre una camisa blanca. Si lo ilumina con un foco rojo, parecerá ir todo de rojo, tanto la camisa como la capa. Esto se debe a que la única luz que todas las partes de su traje pueden reflejarnos es roja. Ninguna parte de él puede reflejar luz verde o azul porque simplemente no está recibiendo luz de esos colores. Ahora ilumínelo con un foco blanco. La capa roja sigue siendo roja, porque ésa es la naturaleza del tinte en ella; ese producto químico en particular fue escogido porque absorbe todos los demás colores del foco blanco, reflejando sólo el rojo. Pero la camisa blanca no absorbe ninguno de los colores del foco; no tiene tinte rojo (hasta que el actor aplica un poco de tinte rojo de forma subrepticia, en la escena de la puñalada). La camisa simplemente envía toda la mezcla de colores del foco hacia nosotros, apareciendo tan blanca como la luz que salió del foco.

Ahora volvamos a la nieve antes de que se derrita.

La nieve es blanca (ahora ya lo sabe) porque sus moléculas nos reflejan todos los colores de la luz solar. No absorbe selectivamente ningún color en particular. «Pero un momento —está pensando—, tampoco el agua líquida está hecha de las mismas moléculas de H₂O. Así que ¿por qué el agua líquida no es tan blanca como la nieve recién caída?» Porque el agua líquida es un mal reflector. Cuando la luz la toca de frente, casi toda la atraviesa —penetra— en lugar de rebotar. En otras palabras, el agua líquida es transparente. Y si prácticamente no rebota nada de luz, no puede mostrar-mucho color, ni siquiera blanco. La nieve, por otra parte, es un excelente reflector de luz — cualquiera que sea la luz que le llegue—. ¿Quiere nieve verde? ¡Hey, Pepe! ¡Enciende las luces verdes! Es un reflector excelente porque, a diferencia del agua líquida, que permite pasivamente que la luz la penetre, la nieve consiste en millones de cristales de hielo, en el que cada uno de ellos es una joya diminuta con docenas de caras brillantes que reflejan la luz como espejos. Toda esta luz blanca rebotando a nuestros ojos, con sus colores originales intactos, es lo que hace que la nieve parezca incluso más blanca que la camisa sudorosa del actor.



No lo ha preguntado, pero...

¿Qué es el negro? ¿Es un color?

Una superficie negra es una cuyas moléculas están absorbiendo todas las

longitudes de onda visible de la luz que cae sobre ella, y sin reflejar prácticamente nada de luz. De modo que el negro no es realmente un color, porque definimos un color en términos de una combinación específica de longitudes de onda de luz que se reflejan sobre nuestros ojos. Pero, por supuesto, usted puede ver un objeto negro, de modo que debe estar reflejando algo de luz hacia nuestros ojos. Pero ¿quién es perfecto? La luz que un objeto negro refleja viene del hecho de que su superficie tiene una pequeña pero inevitable cantidad de brillo en ella. De modo que refleja parte de la luz que le llega en un cierto ángulo. Por eso es por lo que hay objetos «negro claro» y «negro oscuro», dependiendo de lo relucientes que sean sus superficies. Vaya a una ferretería y mire las pinturas negras; todas son igual de negras, pero variarán en capacidad de reflexión desde la más opaca hasta la más reluciente.



El rincón del quisquilloso

Dije que cuando la luz alcanza agua líquida de frente, la mayor parte de ella entra en el agua sin ser reflejada. El énfasis estaba en las palabras «de frente». Como estoy segura de que habrá observado, la superficie del agua puede ser un muy buen reflector de la luz que le llega de forma oblicua —de lado—. Cuando el sol está bajo sobre un lago, por ejemplo, su reflejo en el agua puede ser casi cegador. Lo mismo ocurre con los copos de nieve. Sí, estén compuestos de cristales de hielo transparentes, pero puesto que hay millones de ellos, todos con formas complicadas, desperdigados a diestra y siniestra con sus caras reflectantes en todas direcciones, la luz está casi invariablemente alcanzando las caras de forma oblicua y siendo reflejada.

Por eso, la nieve es tan buen reflector, de hecho, que los esquiadores y otras masoquistas a los que les gusta retozar en temperaturas frías tienen que llevar gafas muy oscuras para evitar ser cegados por la nieve.

Una puntualización final. Lo iba a dejar con la idea de que el agua líquida no tiene color. Casi no tiene color.

Los colores de la escuela

En clase de ciencia nos dijeron que los colores primarios eran azul, verde y rojo. Pero en clase de dibujo nos dijeron que los colores primarios eran azul, amarillo y rojo. ¿Por qué no pueden ponerse de acuerdo los artistas y los científicos?

Porque piensan en el color de forma distinta.

Los científicos describen objetivamente lo que la naturaleza proporciona. Piensan, por lo tanto, en el color como una característica fundamental de la propia luz. Para un científico, la luz de diferentes colores es radiación de diferentes longitudes de onda. Los artistas, por otra parte, crean sus propias interpretaciones de la naturaleza., por lo tanto, tienden a pensar en colores subjetivamente, como algo que se puede manipular con pinturas y tintes, en lugar de aceptar la luz en su estado natural. ¿Por qué, entonces, estos dos campos tienen que usar distintos colores primarios —tríos de colores que pueden ser combinados en diferentes cantidades para producir todos los demás colores—? En pocas palabras, es una cuestión de los colores primarios de la luz frente a los colores primarios de los pigmentos. Como veremos, pueden llamarse los primarios aditivos y los primarios sustractivos, respectivamente. Los científicos argumentan que pueden hacer luz de cualquier color percibido combinando luz azul, verde y roja de varias intensidades. Por otra parte, los artistas argumentan que pueden tinter un objeto de cualquier color combinando los pigmentos azul, amarillo y rojo en varias cantidades. Y ambos tienen razón, puesto que hay una diferencia fundamental entre el color de la luz y el color de un objeto. La luz coloreada es de un color determinado porque está compuesta de una mezcla de ondas de luz de varias longitudes.

Los componentes de distinto color se suman para producir el color neto. Resulta que, por la forma en que nuestros ojos funcionan, las luces azul, verde y roja contienen todas las longitudes de onda necesarias para ser mezcladas y producir cualquier color percibido. De modo que el azul, el verde y el rojo son los llamados colores primarios de la luz. (Entendido: para los ojos humanos). Un objeto coloreado, por otra parte, tiene un determinado color debido a las longitudes de onda que absorbe de la luz que le llega (véanse págs. 571). En otras palabras, sustrae ciertas longitudes de onda de la luz y nos refleja el resto como el color que vemos. Varias mezclas de pigmentos azul, amarillo y rojo son capaces de absorber casi cualquier combinación de longitudes de onda. De modo que el azul, el amarillo y el rojo son considerados los colores primarios para mezclar pinturas y tintes. (Pero vea más adelante para una pequeña vuelta de tuerca sobre esos tres colores.) El sistema basado en la luz de los colores primarios se llama aditivo porque diferentes combinaciones de longitudes de onda se suman entre ellas para producir distintos colores de luz. El sistema basado en pigmentos de los colores primarios se llama sustractivo porque diferentes combinaciones de longitudes de onda son absorbidas o sustraídas de la luz para producir distintos colores de pinturas y tintes. Miremos primero a los primarios de la luz, y luego a los primarios para los objetos o pigmentos.

Luz: el ojo humano —incluso el ojo de un artista— funciona con el principio aditivo. Tiene tres tipos de células sensibles al color en la retina (también llamadas

células cono): un tipo es muy sensible a la luz azul, otro a la luz verde y otro a la luz roja. Nuestra percepción de varios colores depende de los grados relativos de estimulación de esos tres tipos de células por la luz que entra en nuestros ojos; el cerebro los suma entre sí para producir sensaciones de varios colores. Por eso, los científicos —chovinistas humanos como son— escogen el azul, el verde y el rojo como los colores primarios de la luz. (Los científicos ardilla sin duda utilizan un juego diferente de colores primarios.) Nuestros ojos reaccionan sólo a estimulaciones de estos tres receptores del color, de modo que es todo lo que necesitamos para producir todos los tonos discernibles por los humanos.

Y es por eso por lo que hay tres, y sólo tres, colores «primarios» o fundamentales de la luz. Nótese que cada tipo de célula cono no es sensible exclusivamente al azul, verde y rojo puros; cada una es sensible, en un menor grado, a los otros colores también. Por eso podemos ver luz amarilla pura, a pesar de que no tenemos ninguna célula cono sensible al amarillo. La luz amarilla estimula tanto las células sensibles al verde como al rojo, y nuestros cerebros perciben esa combinación como amarillo. Su televisión y pantalla de ordenador en color se aprovechan de esta idiosincrasia de tres colores de la visión humana. Contienen fósforos de color azul, verde y rojo (productos químicos que brillan al ser estimulados por electrones), reflejando luz con brillos variables. Los brillos se suman entre sí para producir los colores que percibimos.



Haga la prueba

Mire la pantalla de su televisor o pantalla de ordenador en color con una lupa. Verá que está formada por diminutos rectángulos de color azul, verde y rojo —y no de otros colores— que están siendo estimulados para reflejar luz con brillos variables. Su ojo los mezcla todos porque los rectángulos individuales son demasiado pequeños como para verlos a una distancia normal. Sumados de esta forma, los rectángulos de colores primarios componen los cientos de diferentes tonos de color que usted percibe.

Pigmentos: la película en color de su cámara, por otra parte, forma sus colores mediante el sistema sustractivo del artista. Contiene tres capas de tintes que absorben o filtran el azul, el verde y el rojo. Y los filtros que mejor absorben el azul, el verde y el rojo resultan ser el amarillo, el rojo y el azul, respectivamente. De modo que el amarillo, el rojo y el azul son los tres colores sustractivos en las películas. Pero ¿son estos filtros de película a color amarillo, rojo y azul los mismos que los colores sustractivos de los artistas? En cierto modo, pero no exactamente. Aquí está la vuelta de tuerca que le



prometí: los tres colores que son realmente los mejores absorbiendo el azul, el verde y el rojo a los que son más sensibles nuestros conos son el amarillo, un rojo púrpura llamado magenta y un azul verdoso llamado cyan. Amarillo, magenta y cyan son, por lo tanto, los tres verdaderos colores primarios sustractivos que se usan para fraguar el espectro completo de colores de la tinta, fotografía y pintura.

Todos los artistas, desde los niños del parvulario con ceras hasta los acuarelistas más sutiles, podrían crear todas sus paletas mezclando varias cantidades de amarillo, magenta y cyan. Pero es mucho más fácil comprar pinturas y ceras ya mezcladas.

¡Hágase la fluorescencia!

¿Cómo dan tanta luz las lámparas fluorescentes sin despedir demasiado calor? Y cuando una se funde, ¿puedo reemplazarla por cualquier tubo que encaje, o hay diferentes tipos?

Los tubos fluorescentes se inventaron con un solo propósito: para confundirlo. Me alegra comprobar que están haciendo bien su trabajo. Cuando una bombilla incandescente ordinaria se funde, se puede enroscar una nueva con la ayuda de un determinado número de amigos, dependiendo de su vocación y su origen étnico. Pero cuando una luz fluorescente se funde, se mira el tubo para ver por qué tipo de tubo hay que reemplazarlo, y pueden verse unas inscripciones del estilo de «F20CW-T12». Si reemplaza ese tubo por uno del tipo «F15W-A10» que vio en la tienda, ¿explotará cuando lo encienda? Anímese. Es mejor encender una vela y leer este libro que maldecir en la oscuridad. Primero, descifremos esos jeroglíficos del tubo. Son un código secreto que revela todo sobre el tubo de luz. No para usted, el pobre consumidor, por supuesto, pero para la gente que los fabrica y los vende, que parece que tienen una necesidad de aparentar ser más listos que usted. Voy a decirle cómo funciona el código secreto. (Supongo que ahora tendrán que matarme.)

Cualquier tubo fluorescente es o bien recto, o con forma de U o circular; tiene un cierto vataje; emite luz de un cierto color, y tiene un determinado diámetro. Las letras y los números en el tubo dan esta información en este orden: forma, vataje, color y diámetro. El único problema es saber cómo está codificada la información. Para la forma, se utiliza una U o una C para un tubo con forma de U o circular, respectivamente, y ninguna letra si es un tubo recto. A continuación va el vataje: 4, 5, 8,13,15, 20, 30, 40, o lo que sea. (El vataje es generalmente más bajo que las bombillas incandescentes, porque la luz fluorescente es de dos a cuatro veces más eficiente.) Lo sigue el código del color: W para blanco (del inglés white), CW para blanco frío (cool white en inglés), WW para blanco cálido (warm white en inglés),

más otras abreviaciones para colores exóticos de los que no tenemos que preocuparnos. Finalmente va el diámetro del tubo, pero viene dado —¿se lo puede creer?— en octavos de pulgada: T8 es un tubo de ocho octavos de pulgada, lo que cualquier humano cuerdo llamaría una pulgada. Un tubo T12 son doce octavos o bien una pulgada y media de diámetro, y así sucesivamente. Pregunta de concurso: describa las propiedades de un tubo fluorescente F40CWT10 (la respuesta está al final de esta sección). Oh, olvidé decirle: los códigos siempre empiezan por F de «fluorescente», presumiblemente para evitar que enrosque un fluorescente en un agujero de bombilla. (¿Cuántos idiotas hacen falta para enroscar un tubo fluorescente en una rosca de bombilla incandescente?)

Como consumidor alerta, quizá se ha dado cuenta de que no puede reemplazar un tubo de veinte centímetros de largo por otro de treinta centímetros de largo. Los fabricantes le conceden gentilmente el suficiente crédito como para que tome esa decisión por su cuenta, de modo que no encontrará ningún código de longitud en los tubos. Bien. Y ahora, ¿cómo funcionan estos tubos? Ya sabe que las lámparas ordinarias incandescentes, incluidas las lámparas halógenas, dan luz porque calientan eléctricamente un filamento hasta que brilla de color blanco. La parte exterior de una bombilla puede llegar a temperaturas de varios cientos de grados. Las lámparas fluorescentes se basan en un principio totalmente distinto. El tubo fluorescente está lleno de una pequeña cantidad de gas inerte (normalmente argón) junto con unas gotitas de mercurio. En cada extremo del tubo hay un pequeño filamento que se calienta con la corriente eléctrica de manera que emite electrones. (¿No sabe por qué un filamento caliente emite electrones? Váyase al rincón. Es decir, a «El rincón del quisquilloso».) Los electrones emitidos desde los filamentos atraviesan el gas del tubo para ir de un filamento al otro, y en el proceso colisionan con átomos de mercurio, que han sido vaporizados por el calor de los filamentos. Los átomos de mercurio absorben la energía de la colisión y la devuelven como energía luminosa. Pero no podemos ver esa luz porque está en la región de longitudes de onda ultravioleta, así que debe ser convertida en luz que los humanos podamos ver. Esto se consigue mediante ese recubrimiento blanco en el interior del tubo. Está formado por productos químicos (fosfatos y silicatos de calcio y estroncio) que absorben la luz ultravioleta y la reemiten como luz visible; este desplazamiento de longitud de onda recibe el nombre de fluorescencia (véanse págs. 51 y 57).

Las lámparas fluorescentes son más frías que las incandescentes porque sólo tienen esos dos pequeños filamentos ligeramente calientes en los extremos, y el proceso de fluorescencia en sí mismo no produce calor. Pero es difícil poner una lámpara fluorescente en marcha, porque los electrones de los filamentos primero han de atravesar el gas de lado a lado del tubo. Eso requiere varios cientos de voltios de empuje, pero la tensión eléctrica de nuestras casas es sólo de 220 voltios. De modo

que algo ha de suministrar un golpe de tensión inicial a los electrones. Esto es lo que hace el cebador. Y aquí es donde la cosa se pone complicada, porque hay varios tipos de sistemas y circuitos de lámparas fluorescentes. Y a su vez hay varios tipos de cebador, o combinaciones de ellos, pero olvídense, no hace falta que lo sepa.

¿Qué hacer cuando su instalación de especie desconocida no se encienda ? Primero, reemplace el tubo por otro con un código idéntico. No puede siquiera reemplazar un vataje diferente, como se hace con las bombillas incandescentes; eso puede causar un recalentamiento peligroso en el cebador, que fue diseñado para el otro vataje. La única libertad que tiene es cambiar una lámpara blanco frío por otra blanco cálido, o viceversa, o por una de los muchos otros colores «deluxe». Si su instalación tiene una de esas pequeñas cápsulas de encendido, también puede reemplazarla; son baratas y simplemente se enroscan en el enchufe. Si todavía está a oscuras, tanto literal como figuradamente, compre una instalación nueva.

Oh, y una F40CWT10 es un tubo fluorescente recto de 40 vatios, blanco frío, de una pulgada y cuarto de diámetro.



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué los tubos fluorescentes pequeños cuestan tanto más que los grandes de más de un metro que se usan en las tiendas?

Puede usted comprar el típico tubo de más de un metro en uno de esos centros de bricolaje por un par de dólares, mientras que un tubo pequeño y delgada para el armario de la cocina puede costarle hasta cinco veces más. La respuesta es que los tubos grandes que se usan a miles en los colegios, fábricas y oficinas, se venden mucho más que los más pequeños y especializados, y, por lo tanto, se producen en masa a un coste unitario mucho más bajo. Es un caso típico de libro de oferta y demanda.



El rincón del quisquilloso

¿Por qué los filamentos en un tubo fluorescente emiten electrones al ser calentados? Casi cualquier cosa emitirá electrones si se calienta lo suficiente. Los átomos contienen electrones cargados negativamente, que se mantienen junto al átomo con varios grados de fuerza, dependiendo de qué átomos estemos hablando. Los átomos de metal agarran a sus electrones de forma muy laxa. Cuando calienta un metal, algunos de esos electrones obtienen energía suficiente como para despegarse por completo de sus átomos y salir volando.

En un tubo fluorescente hay dos filamentos, uno a cada lado, calentándose por su resistencia al flujo de una corriente alterna de 50 ciclos por segundo (una corriente

que continuamente está alternando su dirección). En un momento dado, un filamento está cargado negativamente con respecto del otro, pero una centésima de segundo después está cargado positivamente con respecto del otro. En cualquier instante, los electrones del filamento negativo son atraídos al filamento positivo, y la única forma de llegar allí es surcar a través del vapor de mercurio en el tubo, haciéndolo emitir radiación ultravioleta.

Estrellita, estrellita, ¿qué bombilla debo usar esta noche?

¿Qué tienen de especial las bombillas halógenas?

Contienen un gas llamado halógeno, que las hace más brillantes, blancas, eficientes y duraderas. Y por supuesto, mucho más caras. Una lámpara halógena es una variación de la lámpara estándar incandescente, en contraposición a las lámparas fluorescentes. Una lámpara incandescente contiene un filamento de tungsteno encerrado en una bombilla de cristal rellena de gas.

Una corriente eléctrica calienta el filamento hasta la incandescencia —un brillo blanco y caliente—. Puede parecer muy brillante, pero en realidad sólo del 10 al 12 % de la energía que emite es luz visible; el 70% de ella es radiación invisible infrarroja, que calienta en lugar de iluminar. En una bombilla normal, el gas que contiene es un gas inerte (no reactivo) como el argón o el criptón con algo de nitrógeno añadido. Estos gases inertes evitan que el tungsteno se oxide, o «se quemé», como lo haría en el aire. Algunas bombillas más pequeñas resuelven el problema estando vacías por completo: prácticamente no hay nada de gas dentro de ellas.

En una bombilla halógena, el gas es por lo general yodo, o a veces bromo, dos elementos químicos altamente reactivos de una familia que los químicos llaman halógenos. Realizan un baile químico de dos pasos que hace que el filamento dure el doble. Pero primero tenemos que entender cómo funciona una bombilla estándar. El filamento es una espiral de alambre delgado de tungsteno. Se utiliza el tungsteno porque tiene el punto de fusión más alto de todos los metales —3.400 grados Celsius— y se mantiene sólido incluso a temperaturas muy altas de 2.500 grados Celsius o más. Es más, tiene la presión de vapor más baja (véanse págs. 233-234) de todos los metales, lo cual significa que se evapora menos que cualquier otro metal. Sí, incluso los metales evaporan unos pocos átomos de vez en cuando, pero tan lentamente que nunca nos damos cuenta, excepto a temperaturas muy altas. (No tema; sus joyas de oro no se van a evaporar.)

Cuando está incandescente, incluso el tungsteno se evapora lo suficiente como para que el filamento se vaya volviendo más y más delgado mientras la bombilla está

encendida, hasta que finalmente se rompe e interrumpe el circuito eléctrico. Entonces es cuando se funde la bombilla. Durante un tiempo antes del desastre, puede ver el tungsteno evaporado como una capa oscura en el interior del cristal, donde se ha condensado debido a la temperatura relativamente baja del cristal. Este oscurecimiento, por supuesto, baja progresivamente la cantidad de luz que la bombilla emite conforme envejece. A veces, el filamento de una bombilla habrá desarrollado un punto tan delgado que estallará por completo cuando encienda el interruptor. El destello azul que ve es un arco eléctrico, saltando a través de la separación conforme el punto delgado se evapora por completo bajo el esfuerzo del calor de la sobretensión eléctrica.

Un truco: cuando una bombilla se funda, intente golpearla o sacudirla suavemente mientras el interruptor esté encendido. A veces puede acercar los extremos rotos lo bastante como para que un arco fluya entre ellos y los funda de nuevo, recompensándole con quizá una hora de vida después de la muerte. Lo que las bombillas halógenas hacen es reducir la tasa de evaporación del tungsteno de una forma muy interesante.

Primero, el vapor de yodo reacciona con los átomos evaporados del tungsteno antes de que se puedan condensar en el cristal y los convierte en yoduro de tungsteno, un compuesto químico gaseoso. Las moléculas de yoduro de tungsteno flotan entonces dentro de la bombilla hasta que se encuentran con el filamento incandescente, en donde la alta temperatura los rompe de nuevo en vapor de yodo y tungsteno metálico, que se vuelve a depositar en el filamento. El yodo liberado queda libre para atrapar y entregar más átomos de tungsteno, y el ciclo continúa, con los átomos de yodo capturando continuamente átomos evaporados de tungsteno y devolviéndolos al filamento. Este proceso de reciclado duplica la vida del filamento, y, por lo tanto, de la bombilla.

El proceso halógeno permite que la lámpara pueda funcionar a temperaturas mucho más altas sin excesivo deterioro del filamento, y eso produce una luz más blanca y brillante. De hecho, la temperatura del interior de la bombilla tiene que ser alta —por encima de unos 250 grados Celsius— para evitar que los átomos de tungsteno se condensen en él antes de que el vapor de yodo pueda sujetarlos. Las bombillas halógenas están hechas de cuarzo, que soporta temperaturas mucho más altas —y es más caro— que el cristal ordinario. Generalmente tienen forma de tubo y rodean los filamentos de muy cerca para mantenerse calientes. De hecho, las lámparas de tungsteno arden a una temperatura tan alta que pueden ser un riesgo de incendio si se usan demasiado cerca de materiales inflamables como, por ejemplo, las cortinas.



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué no duran más las bombillas?

Las bombillas están diseñadas muy cuidadosamente para durar un cierto tiempo. Una persona desconfiada podría sentir la tentación de decir que están cuidadosamente diseñadas para fundirse tras un determinado tiempo. No hay razón por la que una bombilla no pueda estar diseñada para durar de manera casi indefinida. Pero probablemente no le gustaría.

Como ocurre con muchos aparatos, hay un compromiso entre varias consideraciones conflictivas. Más que nada, la vida de una bombilla depende de la temperatura de trabajo del filamento. Para un vataje determinado (la cantidad de consumo de energía eléctrica), cuanto más altas sean la temperatura y la luz emitida, más corto será su tiempo de vida. Las bombillas de larga duración tienen filamentos diseñados para brillar a temperaturas más bajas. Pero la temperatura más baja no produce tanta luz. También, puesto que las temperaturas más altas producen una luz más blanca y azulada, las bombillas de larga duración pueden tener un tono ligeramente más amarillento.

Las bombillas de larga duración consiguen sus temperaturas más bajas usando un filamento que permite que menos corriente eléctrica pase a través de él. Menos flujo de corriente genera menos calor y menos luz, de modo que no sólo obtiene una luz más amarillenta, sino también menos luz. Si compra bombillas de larga duración, tiene que comprar una bombilla de vataje más alto de lo normal para obtener la cantidad de luz que espera de una bombilla normal. Por ley, en el embalaje de las bombillas debe mencionarse el número medio de horas de duración y la cantidad de luz que emiten en todas direcciones: el número de lúmenes. Compare el número de horas y lúmenes en unas bombillas de larga duración con el de bombillas normales de vataje comparable. Si desea conformarse con la menor cantidad de luz y mayor precio por la comodidad de no tener que cambiar la bombilla durante un largo período de tiempo, compre las de larga duración. Por otra parte, si es usted un comprador compulsivo de bombillas normales rebajadas, lleve su calculadora a la tienda.

Para un vataje dado, quiere el máximo de luz para el máximo de tiempo al mínimo de precio. Divida el precio en céntimos por el número de lúmenes, y entonces divida el resultado por el número de horas de tiempo de vida esperado. El número más bajo es la mejor ganga. Y hablando de ahorrar dinero, un interruptor con regulación gradual de luz reduce la tensión sobre la bombilla, lo cual reduce la corriente que circula por el filamento, lo cual reduce la temperatura, lo cual reduce la evaporación de tungsteno, lo cual aumenta considerablemente el tiempo de vida de la bombilla. Lo mejor es apagar las luces cuando abandona una habitación, o bien

reducir el nivel de luz con el regulador.

Espejito, espejito, ¿cómo es que no inviertes nada?

Cuando me miro al espejo y levanto mi mano derecha, mi imagen levanta su mano izquierda. Sin embargo, nuestras cabezas están las dos arriba. ¿Por qué un espejo invierte las cosas de izquierda a derecha pero no de arriba abajo?

Ésta es una de esas preguntas con trampa que pueden volverlo loco porque la pregunta en sí es engañosa. Empieza con una afirmación equivocada y nos pide que continuemos nuestro razonamiento desde ese punto. Pero no se puede seguir el camino hacia la verdad si alguien le hace empezar por la dirección equivocada.

Un espejo no invierte las cosas de izquierda a derecha. Invierte las cosas del frente hacia atrás; invierte el dentro y el fuera.

Lea eso de nuevo.

Y piense sobre ello.

Todo lo que puede hacer un espejo es invertir una dirección. No puede rotar nada. Es usted quien se imagina a sí mismo rotado. El espejo no lo hizo. Sitúese frente a un espejo completo que le refleje el cuerpo entero. Llamemos a la persona en el espejo Negami. ¿Cómo piensa que Negami llegó a estar con su brazo izquierdo hacia su derecha y con su brazo derecho hacia su izquierda? Le apuesto siete años de mala suerte a que piensa que Negami llegó a ese estado girando su imagen media vuelta para darle la cara. Por eso piensa que la derecha y la izquierda han sido invertidas.

Usted lo hizo, al darse media vuelta a sí mismo —en su imaginación. Pero eso no es lo que hizo el espejo. Todo lo que hizo el espejo es tomar la luz que le llega y devolverla a usted para invertir la dirección de la luz. Negami es simplemente usted con sus direcciones «hacia delante» y su «hacia atrás» invertidas.

Está habituado, por supuesto, a mirar hacia delante, pero Negami lo está mirando a usted, hacia atrás; si usted está mirando hacia el norte, Negami está mirando hacia el sur. Y siempre que una persona está mirando a la dirección opuesta de usted y mirándolo a usted, su brazo izquierdo estará a su derecha, ¿no? ¿Qué tiene de inusual eso? No se necesitan rotaciones o intercambios entre la izquierda y la derecha. Nótese que las palabras «arriba», «abajo», «superior» e «inferior» no han aparecido hasta ahora en absoluto. Son completamente irrelevantes para dos personas que se están

mirando la una a la otra. «Arriba» y «abajo» significan exactamente lo mismo para ambas. A no ser, por supuesto, que una de ellas se esté sosteniendo sobre su cabeza.

¿Cómo podemos conseguir que una de ellas se sostenga sobre su cabeza? Fácil. Mantenga el espejo sobre su cabeza y paralelo al suelo. O bien ponga el espejo en el suelo y sitúese cerca de él (¡no sobre él!). Negami está ahora sosteniéndose sobre su cabeza, ¿verdad? Lo cual prueba que el espejo invierte sólo sus direcciones dentro y fuera, que desde su punto de vista actual resultan ser arriba y abajo. Puede ver la misma inversión de arriba por abajo en la superficie especular de un pequeño lago o charco en calma. Mire la reflexión de los árboles en el otro lado. Están boca abajo, ¿verdad?

Y por cierto, me he referido a Negami en masculino para evitar tener que decir «él/ella...» en todas las partes de una explicación que ya es bastante compleja. Si usted es una mujer, por favor, no piense que el espejo invierte el sexo. (Y no lleve una falda cuando se ponga el espejo en el suelo.) Oh, ¿el nombre? Si todavía no se le ha ocurrido, Negami es «imagen» invertido de izquierda a derecha.

!? No lo ha preguntado, pero...

Cuando miro en el fondo de una cuchara pulida, mi imagen es invertida tanto de izquierda a derecha como de arriba abajo. ¿Cómo lo hace?

Acabo de explicar que la imagen no es invertida de izquierda a derecha, de modo que dejemos eso de lado. Pero ciertamente, ¿qué hay de la inversión de arriba abajo? La superficie interior de la cuchara es cóncava —es decir, es hundida como una cueva—. (Ésta es una buena forma de recordar la diferencia entre cóncavo y convexo.)

Cuando mira a la cuchara, notará que la parte superior tiene una forma tal que refleja su luz ligeramente hacia abajo, como un espejo a lo alto. Al mismo tiempo, la parte inferior tiene una forma tal que refleja su luz ligeramente hacia arriba, como un espejo en el suelo. Estos reflectores «superior» e «inferior» resultan en una imagen que parece que se aguanta en la cabeza, exactamente igual que las imágenes sobre su cabeza y bajo sus pies de la explicación precedente.

Espejito, espejito, ¿quién está mejor enfocado?

Soy miope, y cuando miro en el espejo del lavabo sin llevar mis gafas, puedo ver mi bonita cara bastante bien, pero todo lo demás en la

habitación está desenfocado. ¿No debería estar todo igualmente claro, puesto que todas las imágenes en el espejo se hallan igual de cerca de mis ojos?

La distancia de sus ojos al espejo es irrelevante. Lo que cuenta es la distancia de sus ojos a un objeto determinado, tal como si lo estuviera viendo directamente sin espejo.

La luz reflejada desde un objeto tiene que llegar a sus ojos de alguna manera, o si no, no lo vería. La luz que viene de cosas de detrás de su espalda nunca llegaría a sus ojos si el espejo no estuviese allí para darle la vuelta. Eso es todo lo que hace el espejo: toma la luz que le hubiera pasado de largo y la hace rebotar hacia sus ojos. Suponga que está de cara al espejo y mirando un objeto situado detrás de usted. En lugar de ir directamente del objeto a sus ojos, la luz tiene que pasar delante de usted, rebotar en el espejo y entonces volver hacia sus ojos. Esa es una distancia mucho mayor que si hubiera estado de cara al objeto, de modo que está incluso más borroso que si se hubiese dado la vuelta y lo hubiese mirado directamente. La imagen de su bonita cara también está más borrosa que si la estuviera mirando desde la posición del espejo. La luz tiene que ir desde su bonita cara hasta el espejo y de nuevo hasta sus bonitos ojos —el doble de lejos que si se estuviera mirando su bonita cara desde la posición del espejo. Todo esto se basa en el hecho de que cuanto más lejos está un objeto, más borroso lo verán unos ojos cortos de vista. Esto es generalmente cierto, y ésta es la razón:

Los ojos de una persona miope enfocan muy bien los rayos de luz que divergen, que radian en todas direcciones, como ocurre con un objeto cercano. Pero los miopes no enfocan tan bien los rayos de luz que son más o menos paralelos, como los de un objeto distante. No es que los objetos lejanos emitan luz de forma distinta; cada objeto refleja luz en muchas direcciones (¿recuerda cómo dibujábamos un sol brillante en el parvulario, con todos esos rayos que salían en todas direcciones?). Pero cuando se halla lejos de un objeto, sus ojos están interceptando sólo una pequeña fracción de esos rayos en todas direcciones. Es como si todos los rayos estuvieran ahora viniendo de la misma dirección, como un paquete de palitos paralelos, todos apuntando desde el objeto hacia usted. Y ésta es la situación —enfocar rayos paralelos— que los miopes no resuelven bien, de modo que el objeto se ve borroso.

Se fueron... ¿hacia dónde?

En las películas del Oeste, ¿por qué las ruedas de las diligencias a veces

giran hacia atrás?

Esta es la única artificialidad que queda en los increíbles efectos especiales de cine de hoy en día, basados en ordenador, que pueden hacer que cualquier cosa imaginable parezca real, sin importar lo raro que sea —excepto, irónicamente, las ruedas de una diligencia anticuada—. También puede ver el efecto en las ruedas de automóviles, en esos anuncios de televisión que muestran los coches circulando por la carretera. Si mira con atención, verá que las ruedas van hacia atrás sólo durante parte del tiempo; en otros momentos parece como si rodaran hacia delante bastante despacio, y en otros momentos parece que se paran por completo, haciendo que la diligencia parezca un trineo.

Todo es una cuestión de tiempos —la velocidad de la rueda comparada con la velocidad de la cámara.

Una cámara de cine toma una serie de fotos fijas a una velocidad de 24 imágenes por segundo. Por suerte para Hollywood, nuestro lento cerebro humano no puede asimilar tantas fotos separadas y las percibimos como si los objetos que hay en ellas progresasen suavemente de una posición a la otra. (En realidad, son nuestros ojos los que no pueden separar las imágenes si están demasiado juntas: nuestro cerebro es lo bastante rápido. Aunque mi cerebro todavía necesita más de una hora para entender lo que está ocurriendo en algunas películas.) Digamos que uno de los radios de una rueda de la diligencia está pintado de color rojo. Y digamos que cuando la cámara toma la foto número uno, el radio rojo está apuntando hacia arriba, a las doce en punto. Dependiendo de la velocidad de rotación de la rueda, cuando la foto número dos sea tomada en un veinticuatroavo de segundo después, el radio rojo puede haber sido fotografiado en la posición de la una en punto —incluso si ha dado un par de vueltas completas mientras tanto—. Eso hace parecer que se ha movido a la derecha, o en sentido horario. O también podría haber sido fotografiado en la posición de las once en punto, aparentando haberse movido hacia la izquierda, o en sentido antihorario.

Mientras la cámara continúe tomando sus 24 imágenes por segundo, el radio rojo —junto con el resto de la rueda parecerá moverse continuamente, ya sea en sentido horario o antihorario.

Para subir nota, como a los profesores nos gusta decir, ¿puede imaginarse a qué velocidad parece que la rueda está rodando en este ejemplo? (La respuesta puede encontrarse al final de esta sección.) Así que, dependiendo del número de radios de la rueda y de la velocidad de rotación de la rueda en comparación con las 24 imágenes por segundo a las que la película se tomó, la rueda parece estar moviéndose hacia delante o hacia atrás o —cuando la velocidad del radio justo parece estar sincronizada con la velocidad de la cámara— no moverse nada. Esta última es una coincidencia

muy específica, de modo que no ocurre a menudo. Pero si mira con más detenimiento, puede ver cómo la rueda se «para» brevemente al pasar del movimiento «hacia delante», cuando el radio está ligeramente adelantado a los clics del obturador de la cámara, al movimiento «hacia atrás», cuando está ligeramente atrasado.

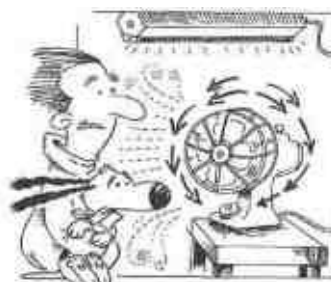
En realidad, por supuesto, las ruedas no tienen un radio rojo; todos parecen iguales. Cualquier radio es un doble de cualquier otro. Por lo tanto, cualquier radio puede estar en la posición de la una en punto o las once en punto cuando la cámara toma la foto, y todavía parecerá como si la rueda está girando a la izquierda o a la derecha. Cuando la rueda va lo bastante rápido, los radios se mueven demasiado rápido como para que la cámara pueda parar su movimiento. Degeneran, por lo tanto, en un borrón, y todo el efecto de movimiento hacia delante o hacia atrás desaparece. Puede ver exactamente los mismos efectos en películas que muestran un sistema más moderno de transporte: aviones provistos de hélices. Cuando se pone en marcha el motor del avión, la hélice parece estar alternando entre las direcciones horaria y antihoraria. Conforme aumenta su velocidad, las palas pasan de sucesivas posiciones «ligeramente adelantadas» a «ligeramente atrasadas» con respecto al momento en el que la cámara toma la foto. Cuando la velocidad es lo bastante alta, las palas se convierten en un borrón.

¿Quiere ver los mismos efectos en casa, pero no tiene una diligencia o un avión a mano? Pruebe esto.

Haga la prueba

Si tiene un ventilador portátil, llévalo a una habitación que esté iluminada con luz fluorescente.

Cuando ponga el ventilador en marcha y se acelere, las palas parecerán estar girando en una dirección y después en la otra. Esto es así porque las luces fluorescentes parpadean cien veces por segundo (sí, cien; visite «El rincón del quisquilloso»), y esto es más de cuatro veces más rápido que una película, de modo que no somos conscientes del parpadeo. La parte luminosa de los parpadeos es lo que usted ve, de forma que es igual que si estuviera viendo una serie de imágenes rápidas en una sala de cine.



El rincón del quisquilloso

Las luces fluorescentes funcionan con corriente alterna (C.A.). Esto significa que la electricidad fluye en una dirección durante la mitad del tiempo y en la dirección opuesta durante el resto del tiempo. En Europa, la frecuencia de la corriente alterna es

de cincuenta ciclos por segundo (sesenta en el continente americano), lo que significa que un ciclo completo dura un cincuentavo de segundo. Digamos que la corriente es «positiva» durante el primer semiciclo y «negativa» durante el otro semiciclo. Esto significa que es «positiva» durante una centésima de segundo (medio cincuentavo) y a continuación es «negativa» durante la siguiente centésima de segundo, y así sucesivamente. De este modo, hay dos puntos de máxima corriente (aunque en direcciones opuestas) durante cada cincuentavo de segundo, resultando en un total de cien máximos por segundo. Una luz fluorescente está «encendida» sólo durante los puntos de máxima corriente, de manera que podría decirse que se comporta como una cámara de cine que está tomando cien imágenes por segundo.

!? No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué todo el mundo parece moverse tan rápido en las películas de principios del siglo xx?

Las películas fotográficas no eran tan sensibles como lo son ahora, así que el tiempo de exposición tenía que ser más largo y, por lo tanto, las fotos debían estar más separadas en el tiempo. Las cámaras sólo tomaban 16 fotos por segundo, en lugar de 24. Durante ese tiempo más largo entre dos imágenes, la gente se movía más lejos, de modo que en un segundo de fotos parece que se han movido más lejos. Más distancia por segundo equivale a más rápido.

Respuesta a la pregunta de nota: hay doce posiciones en el reloj y la cámara está atrapando el radio rojo en la siguiente posición cada veinti-cuatroavo de segundo. Por lo tanto, el radio de la rueda hace una revolución completa en doce veinticuatroavos de segundo, o medio segundo. Una revolución por cada medio segundo son dos revoluciones por segundo, o 120 revoluciones por minuto (rpm).

¡Maldita mancha!

Por qué una mancha mojada en una tela es más oscura?

Supondré que usted se encuentra en el comedor, preocupándose por la sopa en su corbata, aunque también puede haber notado este fenómeno en otras habitaciones y en unas circunstancias diferentes. Vemos un objeto porque la luz viene de él y entra en nuestros ojos. Cuanto más luz viene del objeto, más brillante parece. Y por supuesto, la inversa también es cierta: un objeto que envía menos luz a nuestros ojos

parece más oscuro. De modo que nuestra tarea consiste en explicar por qué sale menos luz de la manchamojada. ¿De dónde sale la luz que un objeto envía a nuestros ojos? Si no es inherentemente luminoso, como el sol o una bombilla (o la nariz del reno de Santa Claus), entonces debe estar reflejando parte de la luz que recibe de algún otro sitio. Pero nada refleja toda la luz que le llega; cada sustancia absorbe parte de luz y devuelve, o refleja, el resto. Así que la mancha húmeda debe estar reflejando menos luz porque por alguna razón está absorbiendo más.

Miremos el tejido húmedo de muy cerca como sería visto por un rayo de luz incidente. Un tejido es un entramado de fibras. Cuando se moja y absorbe el agua por acción capilar, los espacios entre las fibras se llenan de agua. Muchos de los rayos de luz incidentes caerán entonces sobre la superficie del agua en lugar de sobre una fibra.

Cuando un rayo de luz entra en el agua con un ángulo —y por pura estadística la mayoría de los rayos incidirá sobre el agua con algún ángulo, en lugar de perfectamente perpendiculares a la superficie—, ocurre algo muy curioso: el rayo cambia de dirección. (En jerga técnica, es refractado. ¿Por qué cambia de dirección? Encuéntreme en «El rincón del quisquilloso».) En lugar de continuar a través del agua en la dirección con la que entró, el rayo de luz se desvía de la superficie y se introduce en las profundidades del agua a un ángulo incluso más pronunciado que aquel con el que entró. Este ángulo de penetración más pronunciado significa que el rayo de luz penetra más profundamente en las profundidades del tejido, donde tiene más posibilidades de ser absorbido, para no volver a ser visto nunca más. De este modo, hay más «luz perdida» dentro de una mancha húmeda que en una seca, hay menos luz reflejada y la mancha parece más oscura. Un razonamiento similar explica por qué las rocas, hojas y hierbas húmedas parecen tener colores más intensos cuando están húmedas —por qué el campo parece «más fresco» después de la lluvia—. Esos objetos tienen colores porque absorben ciertas longitudes de onda de la luz multicolor diurna y reflejan el resto a nuestros ojos (véanse págs. 54 y 59).

Cuando son recubiertos por una película de agua, los rayos de luz incidente son refractados más profundamente dentro de sus superficies microscópicamente rugosas. La luz refractada rebota entonces por entre esas superficies, lo que le da muchas más probabilidades para que sus longitudes de onda absorbibles sean absorbidas. La luz reflejada restante está, por lo tanto, más desprovista de esas longitudes de onda absorbidas de lo que estaría normalmente, y en consecuencia parece tener colores más intensos.



El rincón del quisquilloso

¿Por qué la luz se «dobla» cuando entra en el agua?

Cuando un científico ha de explicar algo sobre la luz, tiene la elección de explicarlo basándose en ondas de luz o partículas de luz (en jerga técnica, fotones), porque la luz se comporta como si fuera tanto una partícula como una onda. Explicar la refracción sobre la base de que la luz es una onda requeriría que dibujase un diagrama y que utilizase términos como «frente de ondas» y «velocidad de fase», lo cual haría que este libro (que el cielo me perdone) se pareciese demasiado a un libro científico. Así que tomaré el camino sencillo y hablaré de la refracción como si el rayo de luz fuese una bala de luz.

O incluso mejor, como una flecha.

Si se coloca al borde de una piscina (¡NO INTENTE ESTO EN CASA!) y dispara una flecha en el agua con un cierto ángulo —no directamente hacia abajo—, no se sorprenderé al observar que la flecha pierde velocidad al entrar en el agua y se desvía bruscamente hacia abajo, alejándose de la superficie. Esto se debe a que la flecha tiene que viajar más lentamente en el agua que en el aire, y el arrastre la ralentiza en su velocidad hacia delante.

Bien, pues lo mismo ocurre si la flecha es un chorro de fotones. Al entrar en el agua se ralentizan y cambian su dirección a un ángulo más pronunciado que aquel con el que entraron. El chorro de luz ha sido refractado. (Note que si hubiera disparado directamente hacia abajo, la flecha se hubiera ralentizado, pero su dirección no hubiese cambiado. Lo mismo ocurre con la luz; si entra el agua perpendicular a la superficie, su dirección no se ve alterada.)

¿Dije que la luz se ralentiza cuando entra en el agua? Por supuesto que sí, Pero ¿no es la velocidad de la luz siempre la misma? Por supuesto que no. Cuando la gente dice que la velocidad de la luz es de 300.000" kilómetros por segundo, debería tener cuidado de añadir siempre «en el vacío». Porque cuando la luz entra en un medio transparente se ralentiza, y diferentes medios transparentes la ralentizan en distintos grados. La velocidad de la luz en el agua, por ejemplo, es sólo tres cuartos de la velocidad en el aire, Y esa ralentización lleva al doblado del rayo de luz cuando entra en el agua desde el aire. El doblado —refracción— de la luz es incluso mayor cuando entra en el cristal desde el aire, porque la velocidad de la luz en varios tipos de cristal es sólo del 50 o 60% de su velocidad en el aire. Lo cual es genial, porque eso nos permite usar piezas especiales de cristal —lentes— para realmente doblar mucho la luz y hacer todo tipo de aparatos ingeniosos, como los telescopios, los microscopios y las gafas.

Desprecia esa quemadura

Mi dermatólogo me dijo que una loción protectora solar etiquetada como SPF 30 no bloquea el doble de radiación dañina que el de una etiquetada como SPF 15. ¿Por qué?

Su doctor está en lo cierto. Los números SPF no son factores de filtración solar — son factores de protección solar—. Las siglas SPF vienen del inglés Sun Protection Factor, es decir, Factor de Protección Solar. Los números no están diciendo cuánta radiación interceptan, sino cuánto tiempo puede estar al sol antes de que su piel se ponga roja, un síntoma que los médicos llaman eritema. Y ésa es otra cuestión.

Con un SPF 15 en su piel, puede estar al sol quince veces más tiempo que sin protección solar. Con un SPF 30, puede estar al sol treinta veces más tiempo que sin protección. Eso es el doble de tiempo que con un SPF 15. ¡Y así y todo un SPF 30 protege sólo de un 3% más de las radiaciones dañinas que un SPF 15!

Soy bien consciente de que el párrafo anterior es probablemente el párrafo más confuso que pueda leer, aparte de las instrucciones de la declaración de la renta. Pero le mostraré que todo es bastante lógico.

Primero, de todas formas, ¿qué son esas radiaciones amenazadoras que caen sobre nosotros desde el astro rey? Los átomos del Sol, tan calientes como están (alrededor de 5.400 grados Celsius en la superficie solar), se hallan continuamente emitiendo radiaciones de casi todo tipo de energía, desde las ondas de radio hasta los rayos X. Los peligrosos rayos X son filtrados por la atmósfera terrestre, mientras que las ondas de radio del Sol son sustancialmente menos dañinas que esas que emanan de una emisora de radio de rock duro. Nos quedan sólo la luz visible y dos tipos de radiaciones invisibles: la radiación infrarroja, que nos calienta pero no nos quema, y la ultravioleta. Esta última es la malvada. La radiación ultravioleta (UV, del inglés UltraViolet) se subdivide generalmente en tres regiones de energía, que los científicos han etiquetado imaginativamente A, B y C. Podemos eliminar la ultravioleta C (abreviada UVC) de nuestros miedos, porque es absorbida por la capa de ozono de la atmósfera, que, aunque amenazada por la actividad humana, todavía sigue allí arriba. Así que de lo único que nos tenemos que preocupar en las playas, aparte de nuestras panchas y celulitis, es de los rayos UVA y UVB, que pueden causar no sólo quemaduras solares, sino también daño permanente a la piel y cáncer.

Los protectores solares son una mezcla de productos químicos activos en una base cosméticamente atractiva. Las moléculas de cualquier producto químico absorben selectivamente radiaciones de energías específicas. Los productos químicos de los protectores solares tienen apetitos prodigiosos para absorber la radiación ultravioleta, incluso cuando están dispuestos en capas muy delgadas sobre la piel. En las etiquetas de los envases de los protectores solares, verá productos que absorben

rayos UVA, como el avobenzona o el Parsol; productos que absorben rayos UVB, como el octil metoxicinamato y otros cinamatos, homosalato, octil salicilato y padimate O; y productos que absorben tanto UVA como UVB, como el oxibenzona. y otros benzofenones. Un producto químico llamado PABA solía ser popular, pero irritaba la piel de algunas personas y ya no se utiliza.

De acuerdo, fin de la clase de química. Pero he pensado que le gustaría ser capaz de interpretar las listas de ingredientes de las etiquetas de los protectores. No hay por qué preocuparse por los nombres, de todas formas. La mayoría de productos son pícaras cuidadosamente equilibradas de productos químicos diseñados para absorber la gama completa de energías UV dañinas. Pero recuerde que están probados básicamente para prevenir quemaduras, mientras que la investigación continúa revelando que ciertas energías UV son peores que otras al causar envejecimiento prematuro de la piel o cáncer. Es mejor escoger un protector solar de «espectro ancho», para cubrirse mejor las espaldas... y el resto del cuerpo.

Ahora volvamos a esos engañosos números SPF. Es pura aritmética. Míreme. Nada en la manga. Suponga que la marca X de protector reduce a la mitad —50%— los rayos UV que producen quemaduras. Obviamente, podría estar el doble de tiempo de lo normal sin quemarse. Si usted se quemase normalmente en una hora sin protección, podría estar al sol durante dos horas. En otras palabras, el SPF es 2. Ahora suponga que la marca Y reduce el 75% de los rayos UV, lo que significa que estaría expuesto sólo al 25 % de los rayos que queman en lugar de al 100%. Sería capaz de estar al Sol cuatro veces más tiempo que sin protección, ¿verdad? ($100:25=4$). El SPF es entonces 4. La marca Y reduce sólo un 25 % más de los rayos UV que la marca X, pero su SPF es el doble de alto: ¡4 en lugar de 2!

No haré una demostración matemática (¿he oído un respiro de alivio?), pero si quiere averiguar el porcentaje de rayos quemadores absorbidos a partir de un número SPF, he aquí como: reste 1 del SPF, multiplique por 100 y divida el resultado por el SPF. Por ejemplo, para un SPF de 20: $20-1 = 19$; multiplicado por 100=1.900; dividido por 20=95% de absorción. De este modo, puede averiguar que un SPF de 15 absorbe un 93,3% de rayos UV, mientras que un SPF de 30, el doble, absorbe un 96,7%, sólo un 3,4% más. Puede ver que al pagar más dinero por un producto de mayor SPF, está bloqueando sólo una pequeña cantidad de radiación adicional. Es un caso clásico de resultados menguantes. Incluso si usted es un pelirrojo de piel lechosa, cuya piel tiende a hacer juego con el pelo después de una hora de sol, no necesita realmente un SPF de más de, pongamos, 30. ¿Qué le hace pensar que va a estar a la intemperie durante más de treinta horas, de todas formas? El sol tiene la costumbre de ponerse, ya sabe.



Apuesta de bar

Un protector solar de SPF 30 le permite estar al sol el doble de tiempo que un SPF 15, pero sólo bloquea un 3% más de los rayos solares peligrosos.

¡Incorrecto, Incorrecto, incorrecto!

Esos «molinos de luz» que se ven girar en las ventanas de las tiendas de curiosidades, ¿qué los hace girar?

Se les llama radiómetros y generalmente se supone que ilustran que la luz tiene presión. Pero no lo ilustran. Si una máquina pudiera ser un artista del timo, este cacharro ganaría sin duda el primer premio.

Ya los ha visto. Parecen una bombilla en una plataforma. Dentro de la bombilla, de la que se ha eliminado prácticamente todo el aire, hay cuatro veletas delgadas de metal, montadas como un molinete en un pivote de baja fricción. Un lado de cada veleta es brillante (o a veces blanco), mientras que el otro lado es negro. El lado brillante de una veleta mira al lado negro de la siguiente, y así sucesivamente. Cuando se expone el aparato a la luz solar, las veletas giran alegremente, apartándose de los lados negros y en la dirección de los lados brillantes.

La gente ha estado intentando averiguar qué hace girar el radiómetro desde 1873, cuando fue inventado por sir William Crookes (1832-1919). Pensó que era la presión de la luz, que en cierto modo empujaba más fuerte en las superficies negras que en las brillantes. Sir William, que era un hombre listo pero estaba equivocado en el efecto de la presión de la luz, inició una búsqueda científica que todavía no ha terminado. Incluso las enciclopedias de hoy en día dan una explicación popular de cómo funciona el radiómetro de Crookes que puede demostrarse que es incorrecta.

Advertencia: está a punto de encontrarse con uno de sólo dos lugares en todo este libro (espero) en los que la respuesta a una pregunta será menos que satisfactoria. Actualmente, la mejor explicación sobre el radiómetro, que le prometo que le daré al final, es un poco difícil de tragar y todavía es cuestionada por algunos científicos, incluido yo. La otra explicación menos que satisfactoria es por qué la cortina de la ducha es absorbida hacia dentro durante su ducha.

Primero, desacreditemos algunas de las explicaciones obviamente incorrectas que están circulando de manera tan incauta como un radiómetro en el infierno.

Presión de radiación La luz, como todo el mundo sabe, es radiación electromagnética. Y la radiación electromagnética, como usted ya sabe o puede averiguar rápidamente, es un chorro de partículas diminutas de energía llamadas

fotones. Los fotones actúan como balas, de modo que cuando golpean algo, pueden tener un impacto físico. Por ejemplo, los fotones de luz pueden realmente sacar a los electrones fuera de muchas sustancias sólidas. A eso se le llama el efecto fotoeléctrico, y la explicación de los fotones que acabo de darle hizo ganar el premio Nobel a Albert Einstein. (Lo explicó con un poco más de detalle que lo que acabo de explicar.)

Así, podría uno pensar, es el chorro de balas de fotones golpeando las aspas del radiómetro lo que las hace girar, igual que cuando usted —¡NO PRUEBE ESTO EN CASA!— dispara con una ametralladora a una veleta meteorológica. Aunque la presión de radiación realmente existe, ahora sabemos que es demasiado débil como para poder empujar esas aspas. Es más, ¡la presión de la radiación debería hacer girar el radiómetro en sentido contrario! He aquí por qué. La luz es absorbida por las superficies negras y reflejada por las superficies brillantes. Las superficies negras de las aspas simplemente se engullen los fotones, mientras que las superficies brillantes los hacen rebotar, obteniendo un retroceso hacia atrás igual que el retroceso de un arma al disparar una bala. Eso debería hacer que las aspas girasen alejándose de los lados brillantes y hacia los lados negros —justo al revés de lo que estamos viendo que ocurre.

Presión de gas Ésta parece ser la más querida de todas las explicaciones incorrectas. La dan la Encyclopaedia Britannica y otras enciclopedias, al igual que muchos profesores de ciencia. La explicación consiste en que las superficies negras de las aspas absorben más energía luminosa que los lados brillantes y, por lo tanto, están algo más calientes (por ahora correcto). El aire adyacente a los lados negros —todavía hay un poco de aire en la bombilla— es calentado por esta energía (todavía correcto), que hace que la presión del aire sea mayor en los lados negros (¡incorrecto!). Esta supuesta presión empuja en los lados negros, haciendo mover las aspas hacia los lados brillantes. Pero planteemos la siguiente pregunta: cuando se calienta el aire, que ciertamente hace mover sus moléculas más rápido, ¿por qué deberían arrojarse estas moléculas contra las aspas con más frecuencia que en cualquier otra dirección? No puede haber una fuerza direccional a partir del movimiento de las moléculas. Dicho de otro modo, la presión del aire no puede aumentar, porque no está confinado. Es libre de expandir y aliviar cualquier presión incipiente en cualquier sitio que quiera de la bombilla, de modo que no hay razón para expandirse contra las aspas más que en cualquier otra dirección. De este modo, no hay una fuerza neta que empuje las aspas causada por el aire más caliente.

Degasificación Algunos teóricos de las conspiraciones quieren hacernos pensar que el recubrimiento negro de las aspas contiene gases adsorbidos (pegados a la superficie), y que cuando los lados negros se calientan al absorber luz, estas

moléculas de gas son expelidas, como si fueran palomitas de maíz que saltasen de una sartén. Las moléculas de gas saltadoras ejercerían una fuerza en la superficie negra, tal como un jugador de baloncesto ejerce una fuerza sobre el suelo de la pista cuando salta, y esta fuerza empuja las aspas. Pero si esto fuera cierto, tarde o temprano el radiómetro se gastaría según se fueran eliminando todos los gases adsorbidos.

Efecto fotoeléctrico ¿Y si los fotones de luz están haciendo saltar electrones de los lados negros de las aspas y, al salir, los electrones dieran un golpe hacia atrás a las aspas? Ésta tampoco cuela, porque pueden hacerse aspas de radiómetro de materiales que no exhiben el efecto fotoeléctrico; sus electrones se agarran demasiado fuerte para que la luz visible sea capaz de arrancarlos del aspa. Además, el efecto fotoeléctrico todavía tendría lugar incluso si la bombilla estuviera completamente al vacío, pero el radiómetro no funciona sin un poco de aire en la bombilla.

Corrientes de convección La superficie caliente negra genera corrientes de aire por convección, y el aire en movimiento sopla las aspas. El único problema de esta explicación es que nadie puede inventar corrientes de aire que soplen principalmente en una dirección: contra los lados negros de las aspas.

La mejor explicación En 1881, un ingeniero mecánico británico llamado Osborne Reynolds (1842-1912) publicó un escrito que explicaba el radiómetro de una manera que ahora muchos científicos aceptan a regañadientes. La razón por la que esta explicación no sea más conocida es probablemente que no es fácil de describir o de entender. Pero allá va.

Tiene algo que ver con la diferencia de temperatura entre el aire del lado caliente adyacente a los lados negros de las aspas (debido a su naturaleza absorbente de energía) y el aire más frío adyacente a los lados brillantes. Aparentemente, cuando este aire fluye hacia los extremos de las aspas, las moléculas más calientes y rápidas golpean los extremos con un ángulo más oblicuo que las moléculas más frías, y eso empuja las aspas de modo que se alejen del lado negro. La razón exacta de por qué esto debería ser verdad está enterrada bajo matemáticas complejas, que no voy a intentar descifrar para ustedes (ni para mí). Confieso que para mí es difícil creer que son los extremos de esas delgadas aspas, y no sus anchas superficies, lo que las hace girar. Pero esto es lo que dice el señor Reynolds, y ninguna de las otras explicaciones se sostiene ante un examen detallado. Se lo advertí, ¿verdad?



No lo ha preguntado, pero...

Si los científicos hoy en día pueden desmarañar los misterios de la vida

misma, ¿cómo es que no pueden explicar el pequeño y simple radiómetro después de más de cien años de intentarlo?

La respuesta principal es que realmente no han estado intentándolo. No ha habido un amplio programa gubernamental para inyectar billones de dólares en investigación de radiómetros, como lo hubo para el Proyecto Manhattan (la bomba atómica), el programa espacial, la investigación genética u otras iniciativas relacionadas con la salud. No es que el dinero por sí solo pueda resolver un problema científico, pero los científicos son como todo el mundo: tienden a hacer cosas por las que son recompensados, y nadie va a obtener una beca de investigación, un ascenso o un premio Nobel por averiguar cómo funciona un juguete.

Ventanita, ventanita, ¿cómo es que dejas pasar la luz?

¿Por qué son transparentes el aire, el agua y el cristal, cuando prácticamente ningún otro material lo es?

Bien, ¿qué significa «transparente»? Significa que cualquier luz reflejada por un objeto hacia nosotros desde fuera de una ventana de cristal, por ejemplo, puede atravesar el cristal sin encontrar obstáculo y salir por el otro lado, donde nuestros ojos pueden captarla. Por lo tanto, nosotros vemos el objeto a través de la ventana. En general, cuando un rayo de luz encuentra una nueva sustancia, puede ser reflejado hacia atrás o puede penetrar la superficie y ser absorbido. Si consigue escapar de ambos destinos, puede continuar viajando a través del medio; será transmitido. De modo que nuestra tarea consiste en explicar por qué el aire, el agua y el cristal no reflejan y/o absorben la mayor parte de la luz que reciben.

Prácticamente todas las demás sustancias —excepto algunos líquidos similares al agua y plásticos similares al cristal— absorben parte de la luz y reflejan la mayor parte de ella (véanse págs. 54 y 59), sin dejar prácticamente nada de luz que transmitir. Deshagámonos del aire primero. En condiciones ordinarias, el espacio entre las moléculas de aire es alrededor de diez veces mayor que las propias moléculas. De modo que el aire es casi por completo espacio vacío, sin contener prácticamente nada que pudiera interferir con el paso de luz excepto alguna que otra molécula. Y lo mismo ocurre con todos los gases.

El agua y el cristal son una cuestión diferente, sin embargo, porque sus moléculas están muy juntas —lo bastante juntas como para reflejar la suficiente luz—. ¿Recuerda el reflejo de la superficie de un lago o de ese parabrisas de coche en un día

soleado? Así que se refleja algo de luz incluso del líquido o sólido más transparentes. Depende del ángulo con el que incida la luz en la superficie. De los rayos de luz que sí consiguen penetrar el aire, agua o cristal, muy pero que muy pocos son absorbidos; casi toda la luz atraviesa. Las moléculas absorben luz puesto que sus electrones tienen ciertas energías preferidas, y aprovechando la energía extra de una partícula de luz, pueden alcanzar otra de sus energías preferidas. Resulta que ninguna de las moléculas en el aire, agua o cristal pueden absorber y «usar» ninguna de las energías en la luz visible; las energías que sí pueden absorber son ciertas radiaciones que los humanos no podemos ver, como la infrarroja y ultravioleta. Lo mismo pasa con el alcohol, queroseno y otros líquidos transparentes. Así que si se absorbe muy poca luz y el ángulo no es el adecuado para reflejar, casi toda la luz atravesará el medio.



El rincón del quisquilloso

Hay, por supuesto, cristales, líquidos e incluso gases coloreados. Lo que ocurre es que absorben selectivamente algunas de las longitudes de onda o energías de la luz blanca (o Incolora y transmiten sólo las que no pueden «usar». La luz) transmitida, por lo tanto, tiene una composición diferente de longitudes de onda que la luz blanca y de ahí su color percibido.



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué un espejo es tan buen reflector?

Los espejos son los mejores reflectores de luz que el ingenio humano ha sido capaz de inventar. Note, sin embargo, que la luz se refleja sólo de la parte trasera del espejo después de atravesar la capa frontal de cristal transparente. ¿Qué hay en la parte trasera que lo hace tan buen reflector? Se trata de una delgada y suave capa de metal plateado. Todos los metales son brillantes, o reflectantes, porque sus átomos se mantienen juntos por un mar de electrones sueltos y hormigueantes que no tienen preferencia por ningún átomo en particular. (Por eso, los metales conducen tan bien la electricidad —porque la electricidad es simplemente un movimiento de electrones—.) El enjambre de electrones vagabundos en la plata, al no pertenecer a ningún átomo en particular, no tiene preferencia por absorber ninguna longitud de onda específica de la luz, de modo que rechazan y reflejan todas las longitudes de onda. Por supuesto, una capa de metal plateado brillante haría las funciones de un buen espejo sin el cristal, pero se deslustraría muy rápidamente.

Un mordisco luminoso

¿Por qué algunos caramelos de menta generan destellos de luz?

Esta pregunta puede parecer tonta para los que no hayan oído hablar de este efecto antes, pero al masticar uno de esos caramelos realmente se generan destellos de luz. Puede que no ayude en absoluto saber que el fenómeno se llama tuboluminiscencia, pero ya está, lo he dicho y he cumplido con mi deber como científico. El efecto se puede comprobar con los caramelos WintO-Green Life Savers.³ Estos caramelos, no le sorprenderá, son poco más que cristales de azúcar con forma de donut. Se sabe desde hace tiempo que ciertos cristales, incluido el azúcar de caña, exhiben la propiedad de la tri..., como se diga. De hecho, en 1605, el filósofo inglés sir Francis Bacon (1561-1626) informó de que cuando partía bloques de azúcar en la oscuridad (el azúcar se vendía en grandes bloques y la luz de las velas era tenue), observaba destellos de «un esplendor muy vivido pero extremadamente efímero». Hace ya tiempo que los mineralógicos saben que ciertos cristales minerales también emiten luz cuando se les somete a un esfuerzo repentino.

Esto es lo que ocurre:

Un cristal es una disposición ordenada y geométrica de átomos, todos unidos en una especie de estructura de entramado. Ejemplos con los que puede estar familiarizado son el azúcar (sacarosa), la sal (cloruro sódico), el cuarzo (sílice) y el diamante (una forma de carbono demasiado cara). Se ha descubierto que los cristales cuya disposición molecular no es simétrica —es decir, cuyas moléculas no están situadas de forma idéntica en dos direcciones opuestas— son los que mejor destellan. El equivalente más cercano en nuestro país son los Chimos de menta, unos caramelos con forma de donut que se venden en tubos. (N. del T.) Cuando uno de estos cristales se abre de golpe con una grieta, los átomos se desgarran los unos de los otros, y algunos de sus electrones también se desgarran en el proceso. El fragmento de cristal A puede acabar con más electrones de los que se merece, mientras que el fragmento de cristal B puede no tener suficientes. Conforme empiezan a separarse, los electrones extra del fragmento A son fuertemente atraídos hacia el lugar al que pertenecen, y atraviesan la brecha de aire entre A y B con un chispazo, igual que un rayo destellando en el aire entre una nube y el suelo.



Estos rayos en miniatura producen diminutos destellos azules porque las moléculas de aire se cargan de energía con el ajeteo de electrones que lo atraviesan, y a continuación descargan su energía sobrante en forma de luz. Fracturas fuertes en

el cristal pueden, por lo tanto, producir tenues destellos de luz. Eso es todo lo que ocurre en la mayoría de los cristales triboluminiscentes. Pero en el caso de los caramelos WintO-Green Life Savers, eso no es todo lo que ocurre. Hay un segundo paso casi instantáneo que hace la luz mucho más brillante. Gran parte del «rayo» que el aire electrificado emite es invisible al ojo humano; es radiación ultravioleta, de energía más alta que la luz visible. Pero los WintOGreen Life Savers contienen un producto químico llamado salicilato de metilo, también llamado aceite de gaulteria (en inglés, wintergre-en); es el sabor de las hojas de la planta gaulteria, una pequeña planta de hoja perenne. Este producto químico tiene la propiedad de ser fluorescente. Es decir, sus moléculas absorben la radiación ultravioleta y la reemiten como luz visible. Ésa es la luz visible que se ve cuando alguien mastica uno de estos caramelos en un armario a oscuras.

¿Puede esperar para probarlo?



Haga la prueba

Llévese un tubo de WintOGreen Life Savers a un armario oscuro con un espejo de mano o un amigo. Asegúrese de que el armario está completamente a oscuras; espere a la noche y tape la rendija bajo las puertas con una toalla si es necesario.

Piense en cosas puras durante unos diez minutos, mientras sus ojos se adaptan a la oscuridad. Ahora coloquese un caramelo en la boca y, a pesar de lo que le enseñó su madre, mástiquelo rápidamente en sus dientes con la boca abierta. Su espejo o su amigo verán sorprendentes destellos de luz en su boca. Los dragones bebé se entrenan con WintOGreen Life Savers. Puede que también quiera jugar con terrones de azúcar. En un armario, frótelos entre sí como si quisiera encender una cerilla. Verá los destellos en miniatura, pero sin el brillo aumentado por la fluorescencia del salicilato de metilo de la gaulteria.

Capítulo 3. Un tema candente

Todo está caliente. Es decir, contiene algo de calor. Y en consecuencia, tiene una temperatura. Incluso un cubo de hielo contiene calor. «Caliente» es un término estrictamente relativo.

El calor es la forma fundamental de energía, la forma en la que todas las otras formas finalmente degeneran. Hay energía de movimiento (en jerga técnica, energía cinética), hay energía gravitatoria, energía química y energía eléctrica. La energía de uno cualquiera de estos tipos puede convertirse en energía de cualquier otro con el equipamiento adecuado. Podemos convertir energía gravitatoria en energía cinética al empujar y dejar caer un canto rodado por una colina. Podemos convertir la energía cinética de un salto de agua en energía eléctrica al conectar una rueda hidráulica a un generador. Podemos convertir energía química en energía eléctrica con una batería, y así sucesivamente. Pero ninguna conversión puede ser completa al 100%. Parte de la energía debe ser «desperdiciada» inevitablemente —convertida en calor—. Cuando el canto rodado golpea el suelo, se calienta un poco y perdemos esa cantidad de energía calorífica. Cuando una batería entrega corriente, se calienta como resultado de las reacciones químicas en su interior y perdemos esa cantidad de energía calorífica. En resumen, podemos convertir y reconvertir energía tanto como queramos, pero cada vez perderemos un poco de energía en forma de calor. ¿Podemos recoger este calor «desperdiciado» y volver a convertirlo en otra forma de energía? Al fin y al cabo parece que lo reciclamos todo hoy en día; ¿podemos reciclar energía calorífica? Por supuesto, pero no por completo. Y esto es así porque el calor es un movimiento caótico de átomos y moléculas, y para restaurarlos al orden hace falta trabajo: energía. Debemos gastar energía para recuperar esta energía calorífica, de modo que el balance final de energía siempre será deficitario.

Las anteriores ideas están materializadas en lo que se conoce como la segunda ley de la termodinámica, que es uno de los más profundos conjuntos de descubrimientos que ha dado a luz la mente humana. Pero a pesar de que no podemos usarlo con un 100% de eficiencia, el calor está lejos de ser un jugador de segunda en el juego de la energía. El mundo subsiste con el calor. Es la moneda de cambio, el euro de la energía, si se quiere, que nosotros los humanos manipulamos para conseguir nuestros objetivos energéticos. Lo añadimos a nuestros hornos y lo extraemos de nuestras neveras —después de haberlo convertido primero en electricidad, por supuesto, que es mucho más sencilla de manipular que el fuego.

Como los objetos físicos libres, el calor puede viajar de un lugar a otro siempre y cuando vaya «cuesta abajo»: de un lugar con una temperatura más alta a otro con una temperatura más baja. En ese sentido, el calor en movimiento es como el agua en

movimiento. Pero ¿fluye el calor porque el objeto de más alta temperatura contiene más calor que el de más baja temperatura? No necesariamente. La gente a menudo confunde calor con temperatura —la gente que no ha leído este capítulo.

Usando el flujo de calor como analogía del flujo de agua, intente resolver este acertijo. Y luego vuelva a él después de haber leído la sección que comienza en el apartado siguiente.

Si un salto de agua fluye espontáneamente de un lago A a un lago B, ¿significa esto que hay más agua en el lago A que en el lago B? (Nota: el calor es análogo a la cantidad de agua, mientras que la temperatura es análoga a la altitud.)

Este capítulo, pues, versa sobre el calor y la electricidad que obtenemos de él. Habla sobre el enfriamiento global (sí, enfriamiento), pies fríos, acero frío, fuego caliente, neveras, termómetros y bañeras.

¿Quién es ese tal Lewis Carroll, con sus zapatos, barcos y cera de sellar?

Doble problema

Vivo en Miami y mi hermana gemela vive en Tucson. Un día, hablando por teléfono, le mencioné que estábamos a 81) grados Fahrenheit (26 grados Celsius) en Miami, y bromeando ella me dijo que hacia «el doble de calor» en Tucson. Si eso fuera cierto, ¿a qué temperatura estarían en Tucson?

Claramente no estarían a 160 grados Fahrenheit (71 grados Celsius). Pero eso no es porque 160 grados sea demasiado calor: no es calor suficiente. La temperatura que es «el doble de caliente» de 80 grados Fahrenheit, lo crea o no, ¡es 621 grados Fahrenheit!

Esto es lo que sucede. En primer lugar, debemos entender que calor y temperatura son dos cosas diferentes. Por favor, repita conmigo: el calor es energía, mientras que la temperatura es sólo nuestra forma de decirnos el uno al otro lo concentrado que el calor está en un objeto.

Tomemos primero el calor. La cantidad de energía calorífica que contiene un objeto puede cuantificarse en calorías, como si se tratase de un donut. (Una caloría es simplemente una cantidad de energía, ¿verdad?) Pero concederá usted que un donut grande contiene más calorías que un donut pequeño, ¿no es así? Bien, pues lo mismo

ocurre con el contenido energético de cualquier sustancia. Un litro de agua hirviendo contiene el doble de energía calorífica que medio litro de agua hirviendo, a pesar de que ambos están hirviendo a 100 grados Celsius (212 grados Fahrenheit). Otro ejemplo: hay mucho más calor en una bañera llena de agua tibia que en un único vaso que pueda extraer de esa misma bañera, simplemente porque hay más moléculas calientes en la bañera. En resumen, cuanta más sustancia tengamos, más energía calorífica contiene.

(Llegados a este punto, puede que quiera dedicar tiempo a probar suerte con el acertijo de la página 100. La respuesta puede encontrarse al final de esta sección.)

De modo que el problema de su hermana, tanto si se dio cuenta como si no, era el de calcular cuánto más calor había realmente en el aire exterior —digamos un metro cúbico de éste—. Entonces si había el doble de calor por metro cúbico en el aire exterior de Tucson que en el de Miami, podría decir realmente que hacía «el doble de calor». ¿Cómo podemos determinar la cantidad de calor en un objeto? Tomar su temperatura no nos servirá, puesto que eso no tiene en cuenta el tamaño del objeto. Tal como descubrimos en la bañera, un objeto grande que contenga mucho calor puede estar a la misma temperatura que un objeto más pequeño que contiene mucho menos calor. Es más, las temperaturas, tanto si se expresan en Fahrenheit como en Celsius, no son más que números arbitrarios inventados por sendos caballeros epónimos. Son meras etiquetas de conveniencia para que la gente pueda hablar —números en los que todo el mundo se ha puesto de acuerdo, como si hubieran sido proclamados desde el monte Sinaí—: «Cuando el hielo se derrita, será llamado 32 grados Fahrenheit o cero grados Celsius. Y cuando el agua hierva, será llamado 212 grados Fahrenheit o 100 grados Celsius». Estas proclamaciones no fueron hechas por el Señor, sino por los señores Fahrenheit y Celsius. Pero la cantidad de calor que un objeto contiene no puede estar sujeta a las manipulaciones numéricas del ser humano. Necesitamos una forma absoluta de expresar el contenido calorífico de las cosas. La esencia del problema es que en ninguna de nuestras dos escalas de temperatura el cero de temperatura significa cero de contenido calorífico. Cero grados Celsius, por ejemplo, es meramente la temperatura del hielo derritiéndose. ¿Significa eso que no puede haber nada más frío que el hielo derritiéndose? Por supuesto que no quiere decir eso.

O véalo de esta manera: ¿cómo se puede usar una escala para medir algo si su cero no significa realmente cero? Imagínese una vara de medir con una marca de «cero centímetros» en algún punto del centro, en lugar del extremo izquierdo. Puede imaginarse qué medidas más disparatadas se obtendrían. Así que si hemos de ser capaces de medir la cantidad de calor en un objeto, o en el aire, tendremos que tener una escala de números en la que el cero realmente signifique ausencia de calor. Y aquí es donde interviene lord Kelvin, nombre aristocrático de William Thomson,

científico británico (1824-1907). Kelvin preparó una escala de temperaturas que comienza en «nada de calor» —una temperatura de absolutamente cero, en la que las cosas son tan frías como pueden llegar a ser—: el «cero absoluto». Entonces tomó prestado el tamaño del grado del señor Celsius y empezó a contar hacia arriba desde ahí. Al hacer esto, la temperatura del agua helada, cero grados Celsius, resulta estar 273 grados por encima del cero absoluto, y la temperatura del agua en ebullición — 100 grados Celsius— está 373 grados por encima del cero absoluto. La temperatura del cuerpo humano (37 grados Celsius) resulta ser de 310 grados en la escala absoluta. (Dígale eso a su doctor cuando le pregunte cuál es su temperatura.) Ya puede ver que la temperatura absoluta, medida en grados Kelvin en honor de lord Kelvin, es la temperatura en grados Celsius más 273.

Ahora ya estamos preparados para contestar al acertijo de su hermana. Si el aire de Tucson contiene el doble de calor por metro cúbico que el aire de Miami, entonces lo que debemos multiplicar por dos es la temperatura absoluta del aire de Miami. Primero debemos convertir sus 80 grados Fahrenheit en grados Celsius (para ver cómo se hace esto, consulte la página 112). Obtenemos 27 grados Celsius, que al añadir 273 nos da 300 grados Kelvin, que ahora es una medida real del calor que contiene el aire. Multiplicando por dos para obtener el doble de calor, obtenemos 600 grados Kelvin, lo que se convierte en 327 grados Celsius o 621 grados Fahrenheit, ¡que según su hermana estima a ojo, es la temperatura de Tucson! Sí, ya lo sabemos, hermanita: no nota tanto calor porque la humedad es tan baja, ¿verdad? De forma similar, dentro de su casa, si su termostato está programado a 70 grados Fahrenheit y quiere el doble de calor, debería subirlo a 599 grados Fahrenheit. Puede creer en mi palabra o hacer el cálculo usted mismo. En un país que utilice grados Celsius, tendría que tener subir el termostato hasta 313 grados para que una casa a 20 grados esté el doble de caliente.



Apuesta de bar

Si la temperatura de su habitación es de 20 grados Celsius y quiere estar el doble de caliente, tendría que subir el termostato a 313 grados Celsius.

Para ganar esta apuesta, no hay necesidad de garabatear cálculos en una servilleta. Tan sólo explique educadamente a sus amigos, mientras recoge el dinero, que la escala Celsius no señala cero cuando hay una ausencia total de calor; hay una tremenda cantidad de calor por debajo del cero. De este modo, el número «20» no contabiliza todo el calor, y al multiplicarlo por dos no lo colocará nada cerca del doble de calor.



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué hay un límite en lo frío que algo puede estar?

El calor es energía.

¿Qué tipo de energía? No es energía eléctrica o energía nuclear, o el tipo de energía que su coche tiene mientras conduce por la autopista. Es la energía que un objeto contiene en su interior, porque las partículas de las que está hecho, sus átomos y moléculas, están realmente vibrando y rebotando en un espacio limitado, como un hatajo de locos en celdas acolchadas. Cuanto más vigorosamente se mueven esas partículas, más caliente decimos que está un objeto: más alta su temperatura. Incluso a la misma temperatura, de todas formas, un pedazo más grande de la misma sustancia contendrá más energía calorífica porque contiene más partículas en movimiento. Cuando enfriamos un objeto al extraer energía calorífica de él, la energía la pierden esas partículas en movimiento, que pasarán a moverse más lentamente. Al final, si lo enfriamos lo suficiente, deberíamos alcanzar un punto en el que las partículas dejan de moverse por completo. Habremos alcanzado la temperatura más baja posible: el cero absoluto.

Y por cierto, cuando le quiera decir a su médico que no tiene fiebre, por favor, no le diga que «no tiene temperatura». Eso significaría que su cuerpo está al cero absoluto, en cuyo caso un médico no sería de mucha ayuda.



El rincón del quisquilloso

El movimiento atómico y molecular no se detiene del todo en el cero absoluto. La teoría dice que quedaría una pequeña porción de energía residual. Pero el cero absoluto no está basado en el movimiento molecular de todas formas. Es la temperatura a la que un gas se encogería tanto con el frío que desaparecería por completo. Nadie ha conseguido todavía enfriar una sustancia hasta el cero absoluto exacto —de hecho, la teoría dice que nunca puede ser alcanzado—, aunque hay experimentos que se han acercado a unas billonésimas de grado de él. La cuestión es que tendría que mantenerse la sustancia dentro de un aislante absoluto, a través del cual ni el calor de un solo átomo pudiera penetrar. Y eso no es algo que pueda hacerse con un termo de café.

Respuesta al acertijo de la página 100. Por supuesto que a la cascada le da igual lo grande que sean los lagos, Pero Igual que el agua fluiría de un punto más alto a otro más bajo Independientemente de la cantidad de agua, el calor fluiría de un cuerpo con una temperatura más alta hacia otro de temperatura más baja independientemente del tamaño de éstos o de cuánto calor contengan. Es la diferencia de temperatura lo que cuenta — La diferencia entre las moléculas rápidas y calientes y las más lentas y frías

que chocan entre sí y se transmiten su energía.

Pies fríos

¿Por qué el suelo de baldosas de mi cuarto de baño está tan frío para mis pies descalzos?

Suponiendo que no ha olvidado pagar su factura del gas, es porque las baldosas de porcelana conducen el calor mejor que la confortable alfombra de baño, a pesar de que están a la misma temperatura. Es de todos sabido que algunas cosas se sienten más frías al tacto que otras. La gente habla del «frío acero» como si la cuchilla de un sable estuviera más fría que su entorno. A los panaderos les gusta amasar su masa en una losa de mármol porque «está más fría». Toque una cuchilla de acero o una losa de mármol y tendrá que admitirlo: realmente se sienten más frías. Pero no lo están. El acero, el mármol y las baldosas del suelo no están ni una pizca más frías que ningún otro objeto de la misma habitación. Simplemente los sentimos más fríos. Si llevan un tiempo razonable en la habitación, todos los objetos estarán a la misma temperatura, puesto que las temperaturas se equilibran automáticamente. El café caliente se enfría y la cerveza fría se calienta. Deje una taza de café caliente y un vaso de cerveza fría uno al lado del otro en la mesa el tiempo suficiente y a la larga estarán a la misma temperatura, la temperatura ambiente de la habitación. (De todas formas, seguirá pensando que el café está «frío» y la cerveza «caliente», ¿verdad?)



El rincón del quisquilloso

La razón es que el calor fluye espontáneamente de los objetos más calientes a los más fríos. Esto es así porque las moléculas de un objeto caliente se mueven más rápido que las de un objeto frío; esto es lo que es la temperatura: una medida de la velocidad media de las moléculas. Así que cuando un objeto caliente entra en contacto con otro frío, sus moléculas más rápidas chocarán con las lentas del objeto frío y las acelerarán; es decir, las calentarán. Si un objeto resultase estar inicialmente más frío que su entorno, el calor fluiría automáticamente hacia él hasta que su temperatura sea la misma que el entorno. O si un objeto resultase estar inicialmente más caliente que su entorno, el calor fluiría fuera de él hacia el entorno. Hemos visto que es útil pensar en el flujo de calor como si fuera flujo de agua. El agua siempre fluye a un nivel inferior, mientras que el calor siempre fluye a una temperatura inferior. Incluso se podría decir que la temperatura busca su propio punto de equilibrio. No sólo el acero, el mármol y las baldosas dan sensación de frío al tacto.

La temperatura de su piel está ligeramente por debajo de los 37 grados Celsius, mientras que todo lo demás en su habitación (excepto quizá un radiador caliente) está a la temperatura de la habitación —alrededor de 21 grados Celsius, por ejemplo—. De modo que cuando toca un objeto en la habitación, lo notará frío porque realmente está más frío que su piel. El calor, por lo tanto, fluirá de su piel hacia el objeto, y su piel, privada del calor, le da la sensación de frío.



Haga la prueba

Tome varios objetos de la habitación en la que se encuentra, aparte de objetos obviamente fríos o calientes como un refresco, una taza de café o el perro. Presiónelos uno tras otro contra su frente. Todos le parecerán ligeramente fríos.

Pero tal como ha descubierto para su desazón, algunas cosas sí que dan más sensación de frío que otras; la baldosa del suelo se siente más fría que la alfombrilla del baño, a pesar de que hemos visto que tienen que estar a la misma temperatura. ¿Cómo es posible? La respuesta es que, mientras que todos los objetos de la habitación están más fríos que su piel y, por lo tanto, robarán algo de calor de ella, algunos materiales son mejores ladrones que otros. Algunos materiales son mejores conductores del calor —transportan mejor el calor robado—. Y cuanto más rápido conduce el calor un material, más fría va a sentirse su piel. Resulta que la baldosa de porcelana es mucho mejor conductor del calor que el algodón o la fibra sintética de la alfombrilla del baño, así que el calor fluye más rápidamente de sus pies cuando están en el suelo y se sienten más fríos. De entre todos los tipos de materiales, los gases son los peores conductores de calor. Sus moléculas están tan separadas que apenas pueden encontrar otras moléculas para rebotar con ellas. Casi todo conduce el calor mejor que el aire, y por eso casi todo lo que toca le parece frío en cierto grado; lo está comparando con el aire que lo rodea y al que está acostumbrado. El aire lo aísla. Los metales, por otra parte, son los mejores conductores de calor de entre todos los materiales, debido a su estructura única. Contienen electrones sueltos que pueden moverse fácilmente de un átomo a otro. Por eso, los metales conducen tan bien la electricidad, pero ésa también es la razón por la que conducen bien el calor. Esos pequeños electrones pueden transportar energía calorífica de un punto a otro de forma mucho más eficiente que los grandes átomos o moléculas, porque son mucho más móviles. En calidad de los mejores ladrones de calor de su piel, los metales son los que mayor sensación de frío dan de todos los



materiales.

Los ingenieros y físicos han medido el grado en que conducen el calor muchas sustancias (en jerga técnica, su conductividad térmica). Aquí, en números redondeados, se muestran las conductividades térmicas de algunos materiales típicos en comparación con el aire, al que le he asignado un valor de referencia de 1. Conforme se avanza por la lista, más fría se siente la sustancia aunque en realidad esté a la temperatura ambiente.

CÓMO CONDUCEN EL CALOR VARIOS MATERIALES EN RELACIÓN CON EL AIRE

Aire	1
Goma	
Madera	6
Agua	24
Vidrio	30-40
Baldosa de porcelana	40
Mármol	70-120
Granito	130
Acero inoxidable	600
Hierro	3.300
Aluminio	9.500
Cobre	16.000
Plata	17.000

La moraleja de la historia: nunca construya una casa con los suelos del cuarto de baño de plata. Ni los asientos del retrete.

¡La fastidiaste, Gabriel!

¿Por qué en la escala Fahrenheit las temperaturas del agua en congelación y en ebullición son esos números tan extraños de 32 y 212 grados?

Son realmente números raros para cosas tan comunes y usuales como son la congelación y ebullición del agua. Esto es debido a un par de malas decisiones que

tomó un vidriero y físico aficionado alemán llamado Gabriel Fahrenheit (1686-1736). Los artilugios para medir la temperatura habían existido desde alrededor de 1592, a pesar de que nadie sabía qué era la temperatura, y nadie había intentado asignarle valores numéricos.

Entonces, en 1714, Fahrenheit construyó un tubo de cristal que contenía un filamento muy delgado de mercurio —un líquido brillante y fácil de ver— que subía y bajaba por expansión y contracción según hacía calor o frío. Pero el termómetro de Fahrenheit, como todos los que lo precedían, era como un reloj sin marcas horarias. Tenía que poner números en el tubo, o de lo contrario ¿cómo se podría quejar nadie del tiempo atmosférico?

Así que Fahrenheit tuvo que inventar una serie de números para inscribir en sus tubos de cristal, de modo que el mercurio se elevase al mismo número en todos los termómetros cuando estaban a la misma temperatura. Y aquí es donde Gabriel la fastidió. Los historiadores todavía especulan sobre qué debía de estar pasando por su cabeza, pero lo que sigue es una buena conjetura. Primero, decidió que puesto que un círculo completo tiene 360 pasos o grados, estaría bien que en el termómetro también hubiera 360 pasos —¿y por qué no llamarlos también grados?— entre las temperaturas del agua en congelación y en ebullición. Pero 360 pasos harían cada grado demasiado pequeño, de modo que escogió 180 en su lugar.

Esto fijaba el tamaño de un grado: exactamente un ciento ochentavo de la distancia en el tubo entre las marcas del agua en congelación y en ebullición. Pero ¿cuáles —se preguntó— debían ser los números fijos en esos dos puntos? ¿0 y 180? ¿180 y 360? O, el cielo nos perdone, ¿32 y 212? ($212 - 32 = 180$, ¿verdad?).

Pues bien, hundió su termómetro en la pócima más fría que pudo hacer —una mezcla de hielo y un producto químico llamado cloridio de amoníaco— y llamó a esa temperatura «cero». (¡Qué arrogancia, Gabriel! ¿Nadie en la historia de la humanidad iba a ser capaz de hacer una mezcla más fría? Resulta que, dos siglos más tarde, podemos conseguir temperaturas casi 460 grados de los suyos por debajo de su cero.)

Cuando se tomó su propia temperatura, el termómetro subió a alrededor de 100 grados. (De acuerdo, 98,6, pero vea a continuación para saber cómo apareció ese número.) Eso fue un toque que le gustó a Fahrenheit: los humanos, pensó, deberían puntuar 100 en su escala de temperatura. A continuación, hundió su termómetro en una mezcla de hielo y agua, y observó que el mercurio subía 32 grados por encima de la de su mezcla de temperatura cero. Y así es como el punto de congelación del agua resultó ser de 32 grados.

Finalmente, si el agua en ebullición tenía que ser 180 grados por encima de eso, le tocaba $32 + 180$, o 212. Fin de la historia de Gabriel Fahrenheit. Seis años después de que la temperatura del cuerpo de Fahrenheit fuese la misma que la de su entorno, un astrónomo sueco llamado Anders Celsius (1701-1744) propuso la escala de

temperaturas centígrada, a la que ahora llamamos escala Celsius. Centígrado significa «100 grados»; dispuso el tamaño de un grado de modo que haya 100 de ellos, y no 180, entre el punto de congelación y el de ebullición del agua. Además, definió su «temperatura cero» en el punto de congelación del agua, un punto de referencia que cualquiera pudiese reproducir con facilidad. Y de este modo, el punto de ebullición del agua cayó en los 100 grados. (Curiosamente, por razones sólo conocidas por los astrónomos suecos del siglo XVII, Celsius tomó originalmente el punto de congelación como 100 y el de ebullición como cero, pero la gente le dio la vuelta después de que muriese.) ¿Y qué hay de ese número de 98,6 como la temperatura «normal» del cuerpo humano?

Es sólo algo fortuito. La temperatura de la gente varía bastante según la hora del día, el día del mes (para las mujeres) y simples diferencias en el metabolismo. Pero ronda los 37 grados Celsius para la mayoría de la gente, así que eso es lo que los médicos han adoptado como «normal». ¿Y sabe cuántos grados Fahrenheit son 37 grados Celsius? En efecto: 98,6, un número que parece más preciso de lo que realmente es. Esas seis décimas de grado extra no son más que un accidente de la conversión aritmética y no tienen ningún otro significado.

Y hablando de conversiones, no puedo resistirme a la oportunidad —lo hago cada vez que se me presenta— de difundir una forma fácil de convertir temperaturas. No sé por qué siguen enseñando esas fórmulas complicadas en el colegio, con todos sus 32, paréntesis y fracciones impropias cuando hay una forma mucho más sencilla que es absolutamente precisa.

Así es como se hace:

- Para convertir Celsius a Fahrenheit, sume 40, multiplique por 1,8 y reste 40.
- Para convertir Fahrenheit a Celsius, sume 40, divida por 1,8 y reste 40.

Eso es todo lo que hay que hacer. Funciona, porque a) 40 bajo cero es la misma temperatura en ambas escalas, y b) un grado Celsius es 1,8 veces mayor que un grado Fahrenheit. ($180:100 = 1,8$.)

Un último comentario: los termómetros sólo miden su propia temperatura. Piense en ello. Un termómetro frío marca una temperatura baja; uno caliente marca una temperatura alta. Un termómetro no marca la temperatura de un objeto con el que se le ponga en contacto hasta que él mismo se caliente o enfríe a la temperatura de dicho objeto. Es por eso por lo que ha de esperar a que el termómetro de la fiebre se caliente a su temperatura corporal antes de que pueda leerlo.



Apuesta de bar

Un termómetro de fiebre no mide la temperatura de su cuerpo; mide su propia

temperatura.

¿Caliente, más caliente, lo más caliente?

Si el cero absoluto es la temperatura más baja posible, ¿existe la temperatura más alta posible?

Sí. Pero comencemos a una temperatura meramente templada y vayamos aumentando el calor de manera gradual. El calor es la energía que una sustancia contiene en su interior, debido al hecho de que sus átomos y moléculas están en movimiento. Pero la temperatura es un concepto construido por el hombre, inventado para que podamos hablar entre nosotros sobre cuánta de esa energía tiene una sustancia, y le asignamos números a eso.

Cuando decimos que estamos «aumentando la temperatura» de un objeto, estamos añadiendo energía calorífica a sus átomos y moléculas y haciendo que se muevan más rápido. El límite final de enfriamiento y ralentización de dichos átomos y moléculas debe ser cuando ya no se mueven en absoluto; eso es el cero absoluto.

La cuestión que nos concierne, entonces, se limita a si hay algún límite a lo rápido que esos átomos y moléculas pueden moverse. Pero mucho antes de que podamos alcanzar ningún límite de velocidad, deben ocurrir varias cosas. En primer lugar, si la sustancia es un sólido se fundirá en un líquido. Entonces a una temperatura más alta el líquido hervirá y se convertirá en un vapor o gas —una condición en la que los átomos o moléculas están moviéndose rápida y libremente en todas direcciones—. Conforme la temperatura es más y más alta, se mueven más y más rápido.

Por ejemplo, las moléculas de nitrógeno en el aire de su horno a 177 grados Celsius se mueven a una velocidad media de 2.300 kilómetros por hora. Si la sustancia está compuesta de moléculas (grupos de átomos pegados), tarde o temprano éstas se desharán en fragmentos más pequeños o incluso en sus átomos individuales, como consecuencia de las fuerzas demoledoras de sus violentas colisiones. En otras palabras, cada compuesto molecular se descompondrá a una temperatura lo suficientemente elevada.

¿Se romperán en algún momento los propios átomos? Por supuesto que sí. A una temperatura lo suficientemente alta, los electrones serán arrancados de sus átomos, resultando en un hirviente y fluido infierno de electrones libres y fragmentos atómicos cargados, llamado plasma. Ésa es la composición del interior de las estrellas, a temperaturas de decenas de millones de grados.

¿Hay temperaturas aún más altas? ¿Por qué no? No parece que haya nada que nos

impida calentar los electrones y fragmentos atómicos de un plasma a velocidades más y más rápidas, excepto una cosa. Resulta que hay un límite de velocidad en el Universo: la velocidad de la luz en el vacío, que es de 1.080 millones de kilómetros por hora (300.000 kilómetros por segundo).

Albert Einstein explicó que los electrones en un plasma —o cualquier objeto, a ese respecto— pueden aproximarse a la velocidad de la luz, pero nunca pueden alcanzarla. También explicó que conforme una partícula se mueve más y más rápido, se vuelve más y más pesada. Por ejemplo, al viajar al 99% de la velocidad de la luz, un electrón tiene 7 veces su masa normal; a un 99,999% de la velocidad de la luz, es 223 veces más pesado que cuando está inmóvil. Tiene que haber entonces un límite de temperatura, antes de que las partículas de un plasma alcancen la velocidad de la luz y se vuelvan infinitamente pesadas. Consideraciones teóricas fijan esta temperatura en alrededor de 140.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 grados —Fahrenheit o Celsius, usted escoja.

La próxima vez que alguien le diga, en un abrasador día de verano: «¡Buf! ¿Cuánto calor puede llegar a hacer?», explíqueselo.

Pero no se preocupe. Todavía le queda mucho que recorrer al calentamiento global.

¿Por qué las llamas arden siempre hacia arriba?

¿Cómo saben las llamas hacia dónde es arriba?

Encienda una cerilla y, mientras esté ardiendo, gírela en una variedad de posiciones. La llama seguirá apuntando totalmente hacia arriba, independientemente de la orientación de su combustible. ¿Cómo «sabe» hacia dónde debe orientarse? Usted ya está al corriente de que el aire caliente se eleva. (Si quiere saber por qué, vea la página 131.) Una llama, sea lo que sea, debe ser transportada hacia arriba por la corriente ascendente de aire caliente. Y eso es todo lo que necesitamos saber sobre por qué las llamas van hacia arriba.

Pero una pregunta más desafiante es: ¿qué es una llama? ¿Es el aire ascendente en sí, brillando por el calor? Pues no. Una llama es una región del espacio en la que tiene lugar una reacción: la combustión —una reacción entre el oxígeno en el aire y un gas inflamable. ¿He dicho gas? Sí. Pero ¿no arden los sólidos y los líquidos también con llamas? Sí. (¿Y cuándo dejaré de hacerme preguntas a mí mismo?)

La madera y el carbón son sólidos, y son ciertamente inflamables; la gasolina y el queroseno son líquidos, y son ciertamente inflamables. Pero ninguno de ellos realmente arderá hasta que hayan sido convertidos en un gas o vapor. Son sus vapores

los que arden porque sólo los vapores pueden mezclarse en el aire lo suficiente como para que sus moléculas se rocen con el oxígeno del aire. Las moléculas no pueden reaccionar hasta que entren en contacto las unas con las otras. El oxígeno del aire no puede penetrar el combustible sólido o líquido, de modo que el combustible debe evaporarse y salir a buscar el oxígeno.

Es por eso por lo que tenemos que encender un fuego. Hemos de calentar al menos una pequeña porción del combustible lo suficiente como para que pueda evaporarse. Una vez que el vapor comience a arder, el calor de la combustión —la reacción de combustión libera calor— sigue evaporando más y más combustible y mantiene el proceso en marcha hasta que todo el combustible se elimina. (Siempre y cuando haya un suministro inagotable de oxígeno.) Un combustible que ya es un vapor, como el metano de un hornillo de gas, no tiene problemas en mezclarse con el aire, así que puede comenzar a arder con una simple chispa. Los hornillos de gas propano y los encendedores de butano contienen esos combustibles en forma líquida, bajo presión. Pero en cuanto son liberados, se evaporan en gases y se mezclan en el aire, en donde también pueden ser encendidos fácilmente con una chispa.

Cuando encendemos una vela con una cerilla, la cerilla primero debe derretir un poco de cera, la cera derretida debe subir por la mecha por atracción capilar, y la cerilla debe evaporar parte de ese líquido. Sólo entonces, el vapor de cera puede mezclarse con el aire y comenzar a arder. Sin una mecha para conducir la cera fundida hacia arriba, donde hay un buen abastecimiento de aire, una vela no ardería, pero si una llama es simplemente dos gases invisibles reaccionando mutuamente, ¿cómo puede ser que la veamos? En el caso de la vela, la llama es visible porque el oxígeno no puede fluir lo bastante rápido como para reaccionar por completo con toda la cera que se está evaporando. De modo que parte de la cera queda sin arder en forma de pequeñas partículas de carbono, con un brillo amarillo como consecuencia del calor, que son arrastradas hacia arriba por la corriente de aire caliente. Mientras la multitud de partículas brillantes de carbono se eleva, el oxígeno roe su exterior, quemando esas partículas por completo y convirtiéndolas en un gas invisible llamado dióxido de carbono.

De este modo, la multitud de partículas brillantes es vaciada más y más conforme se eleva. Por eso, la llama de una vela es más afilada en su extremo superior.

¿Enfriamiento global?

¿Podríamos evitar el calentamiento global si todo el mundo pusiera en marcha su aire acondicionado y sus neveras a pleno funcionamiento y

abriese las puertas?

Desgraciadamente no, por varias razones.

En primer lugar, la provisión mundial de aparatos de aire acondicionado y neveras no es la que usted se pudiera imaginar mirando en su vecindario. Pero incluso si cada ciudadano de las naciones menos desarrolladas tuviera el privilegio de disfrutar de dormitorios frescos y pizzas congeladas, la cantidad de frío aportado sería comparable a un cubito de hielo en un glaciar.

Por supuesto, usted se esperaba esta respuesta, pero quizá no esta otra: lo que está proponiendo en realidad calentaría el mundo. Como sabe muy bien por su factura de la compañía eléctrica, el aire acondicionado y la refrigeración no son gratis, ni en dinero ni en energía.

Alguien debe producir la electricidad que consumen, y el proceso de producción en sí mismo emite mucho calor; es parte de la ecuación total de la energía, y, por lo tanto, parte del problema ambiental. En muchos casos, el primer paso en la producción de electricidad es generar calor mediante la combustión de carbón o mediante fisión nuclear. El calor se usa entonces para hacer hervir agua a fin de obtener vapor a alta presión, el vapor se usa para hacer girar las ruedas de una turbina y finalmente la turbina en rotación alimenta un generador de electricidad. Ésa es una cadena de acontecimientos notablemente ineficiente, y he aquí el problema, o uno de ellos.

Sólo alrededor de un tercio de la energía inherente del combustible termina siendo electricidad utilizable. Los otros dos tercios se eliminan en forma de gases calientes en el humo, o de agua calentada en el proceso de refrigeración, o bien al transmitirse la electricidad a través de los cables hacia su casa, puesto que los cables de corriente se calientan ligeramente por su resistencia al flujo de electricidad. Por eso, los pájaros se posan en los cables cuando hace frío. Más que ninguna otra cosa, entonces, lo que hacen las centrales de energía es calentar el campo. Cuanta más electricidad pida para refrescar su comida y su progenie, más calor deben arrojar al medio ambiente las compañías eléctricas. En lugar de pensar en abrirla puerta de su nevera, ¡haría un favor al mundo si la desconectara!

De acuerdo, me dirá usted, pero todo ese calor desperdiciado ya es parte del calentamiento global. Usar nuestros aparatos de aire acondicionado y neveras hacia el exterior lo contrarrestaría, ¿no?

De nuevo, por desgracia, no.

Considere cómo funciona uno de estos aparatos. Toma aire caliente, le extrae el calor y descarga ese calor en otro sitio. La nevera elimina el calor del aire de dentro de la caja y lo lanza a la cocina a través de unos radiadores situados detrás o debajo

de la caja, mientras que el aparato de aire acondicionado toma aire de la habitación, le extrae el calor y lo saca por la ventana.

Pero —y he aquí la razón principal por la que su plan no funcionaría— esas máquinas lanzan incluso más calor que el que eliminan del aire. Podría decirse que las neveras y los aparatos de aire acondicionado crean más calor que frío. He aquí por qué. Sabemos que la dirección natural a la que fluye el calor es «cuesta abajo», de una temperatura más alta a una más baja. Para invertir esa tendencia natural y forzar que el calor vaya «cuesta arriba» de un interior fresco a un exterior más templado, estos aparatos deben usar energía eléctrica. (Por eso hay que enchufarlos.) Y esa energía eléctrica, después de que ha hecho su trabajo, se convierte en calor. Puede notarlo al tocar el exterior de la nevera o de aparato de aire acondicionado; está caliente.

Cuando se suma todo, entonces, hay más calor —generalmente, alrededor de un tercio más— saliendo de la máquina refrigeradora que la cantidad de calor eliminado de la caja o la habitación. La conclusión es que estos aparatos son en realidad calefactores.

Y para acabar de rematar el plan de «enfriar el mundo», incluso si las neveras y los aparatos de aire acondicionado pudiesen funcionar sin gastar electricidad, lo mejor que podría esperar es quedarse como empezó: una caloría de calor se descargaría en algún sitio por cada caloría eliminada de otro sitio. Y eso no cambiaría el total de calor del mundo. Lo único que estaría haciendo es mover el calor de un sitio a otro.



El rincón del quisquilloso

Convertir el carbón o la energía nuclear en electricidad es, como hemos visto, un proceso muy ineficiente que desperdicia mucho calor en el medio ambiente. Pero ¿qué pasaría si sus aparatos refrigeradores funcionasen con electricidad de fuentes limpias no procedentes de la combustión, como la energía hidroeléctrica, eólica procesos tan derrochadores como los de la quema de combustibles fósiles o nucleares, esas fuentes de energía tampoco pueden convertirse en energía eléctrica con una eficiencia cercana al 100%. Y el desperdicio de energía se convierte inevitablemente en calor ambiental.



Apuesta de bar

Una nevera es en realidad un artefacto calefactor.

¡Electrizante!

¿Cuán alta debe ser la «alta tensión» antes de ser un peligro serio?

El voltaje o tensión eléctrica no es en sí peligroso. Una descarga de 10.000 voltios puede no ser más molesta que un pinchazo, pero puede recibir una seria sacudida de una batería de automóvil de 12 voltios. Lo que es peligroso es la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de su cuerpo como resultado de la tensión eléctrica.

Una corriente eléctrica, como sin duda sabe, es un flujo de electrones.

La tensión eléctrica (o voltaje) es la cantidad de empuje que urge a dichos electrones a fluir de un lugar a otro. Si no se les da un lugar al que fluir, no hay cantidad de urgencia de tensión eléctrica que los haga fluir. La tensión eléctrica es como la altura: no importa lo alto que esté en una colina, la altura es inocua siempre que no tome una vía directa hacia el suelo. La seguridad eléctrica es simplemente una cuestión de asegurarse de que los electrones puedan llegar al suelo por una vía distinta a la de su cuerpo; no pueden dañarlo si no fluyen a través de usted. Por eso, los pájaros están seguros posados en los cables de alta tensión. Pero ya es hora de que nos centremos en esos electrones de los que hablo en varios sitios de este libro.

Los electrones son las partículas de carga negativa que forman el bulto de todos los átomos. Todo átomo de toda sustancia es básicamente un amasijo de electrones con un núcleo increíblemente pequeño y pesado, de carga positiva, situado en el centro del amasijo. Los electrones en los átomos tienen ciertas energías que son características del tipo de átomo en el que se encuentran (véanse págs. 54 y 56).

Lo que hace posible un flujo de electricidad es que muchos de esos electrones se desprenden fácilmente del resto de sus átomos y se mueven a otro lugar bajo la influencia de un empuje de tensión eléctrica. En la mayoría de los casos sólo hacen falta unos pocos voltios para sacar al menos unos cuantos electrones de sus átomos. Algunos electrones están tan sueltos que simplemente los puede sacar frotando. Arrastre sus zapatos en una alfombra en un día seco y algunos electrones se depositarán en la alfombra. Puesto que sus pies están en contacto con los zapatos, todo su cuerpo tiene ahora un déficit de electrones, mientras que la alfombra tiene un superávit. Normalmente, todos los átomos son eléctricamente neutros, puesto que tienen tanta carga positiva en su núcleo como carga negativa en sus electrones. Pero ahora, su cuerpo tiene menos electrones de los que sus átomos requieren. Si ahora toca un conductor eléctrico, como por ejemplo un radiador metálico o una tubería, los electrones de la inmensa provisión del resto del mundo —el suelo— saltarán ansiosos a su dedo incluso antes de que toque el metal, iluminando el aire intermedio con una chasqueante chispa azulada, y lo instarán a soltar una interjección. En lugar de una tubería, incluso puede tocar a otra persona, que probablemente no tenga tanta

deficiencia de electrones como usted, y algunos de sus electrones saltarán a su dedo, provocando una interjección de dicha persona.

Pero he aquí la cuestión: la tensión que impulsó a los electrones a fluir a su dedo desde la tubería o su compañero sacudido puede haber sido de varios miles de voltios, pero usted no está muerto porque el número de electrones que fluyeron —la cantidad de corriente— era demasiado pequeño como para hacer ningún daño a su cuerpo. Al fin y al cabo, las suelas de sus zapatos no son exactamente generadores eléctricos, como los que hay en las instalaciones generadoras que empujan billones de electrones a través de líneas eléctricas hasta su casa.

En casa, en donde la tensión eléctrica ha sido reducida a 110 o 220 voltios, si toca un cable «vivo» mientras alguna otra parte de usted está conectada al suelo, la compañía eléctrica suministrará ciegamente tantos electrones como puedan fluir por su cuerpo —esto es, una corriente tan grande como pueda fluir a través de usted, dada su resistencia corporal al flujo—. Y eso puede dejarlo frito.

En resumen, el peligro de la electricidad no reside en cuántos son los voltios a que sea sometido, sino en cuánta corriente eléctrica fluya a través de su cuerpo. El problema es que nunca sabemos cuánta será la corriente en una situación dada, así que debemos evitar cualquier tensión por encima de los niveles de una batería en todo momento.

!? No lo ha preguntado, pero...

Si es la corriente y no la tensión eléctrica lo que puede electrocutar a una persona, ¿cuánta corriente hace falta para «hacer el trabajito»?

La corriente eléctrica se mide en amperios. Un amperio es una enorme unidad de corriente eléctrica, equivalente a 6 millones de billones (un 6 seguido de 18 ceros) de electrones pasando cada segundo. Así que a menudo oímos hablar de miliamperios —milésimas de amperio—. Un miliamperio pasando a través de su cuerpo causará una suave sensación de hormigueo. De diez a veinte miliamperios pueden causar espasmos musculares que pueden evitar que usted suelte el objeto «caliente». Doscientos miliamperios, o dos décimas de amperio, hacen que el corazón fibrile (lata desconsoladamente) y pueden ser letales. Corrientes mayores pueden parar el corazón por completo, pero no son siempre letales porque a veces el corazón puede ser reanimado para que vuelva a latir con normalidad. Una batería típica de automóvil es capaz de entregar cientos de amperios o más; hace falta esa cantidad de corriente para hacer girar un motor.

La única razón por la cual los mecánicos de automóvil no caen como moscas es su resistencia eléctrica; cada sustancia resiste el flujo de electricidad en un cierto grado, y la resistencia del cuerpo humano es bastante alta. Por eso es necesaria una

tensión considerable para forzar los suficientes electrones a pasar a través de una persona y electrocutarla. Una batería de automóvil de 12 voltios no tiene tanta fuerza.

Podemos encontrar con electricidad peligrosa en muchas circunstancias distintas. Supondré que no está terriblemente preocupado por ser electrocutado formalmente mientras está sentado en una silla especial.

Pero ¿qué hay del rayo? El chorro de electrones entre una nube y el suelo, o entre dos nubes, está alimentado por decenas de millones de voltios, y eso puede forzar decenas de miles de miliamperios a través del aire, el cual no conduciría electricidad normalmente. Interpóngase en el camino del rayo, y un montón de esos miliamperios puede pasar a través de usted. ¿Cómo se interpone uno en el camino? Al estar cerca de un objeto que ofrece a la corriente del rayo un camino fácil hacia el suelo. Si hubiera una situación en la que la expresión «el camino de menor resistencia» fuese aplicable, ésta es. Los electrones del rayo circularán a través de los mejores conductores —materiales que tengan la menor resistencia eléctrica— que puedan encontrar. Si les ofrece un desvío atractivo a través de su cuerpo, lo tomarán. De todos los materiales, los metales son los mejores conductores de la electricidad; tienen la menor resistencia. Esto es porque los electrones en los átomos de metal están muy sueltos y pueden moverse como parte de la corriente.

Así que cuando una repentina tormenta eléctrica ha caído sobre un campo de golf, una bolsa de bastones metálicos de golf ha sido un billete de ida al cielo para más de un despistado.

Puesto que el aire es tan mal conductor de electricidad, el rayo tomará casi cualquier otro camino disponible antes que surcar por el aire durante esos últimos metros hacia el suelo. Los árboles, con su jugosa savia en su Interior, ofrecen al rayo una alternativa preferente, así que refugiarse de una tormenta bajo un árbol viaje al agujero diecinueve. Pero incluso si está solo en el césped sin árboles alrededor cuando se acerca una tormenta, usted mismo, levantándose algo menos de dos metros sobre el suelo, puede ser el camino preferido para el rayo. Lo mejor es estirarse en el suelo bien plano, lejos del carro y los bastones.

¿Por qué no llueven gorriones asados?

¿Por qué no se electrocutan los pájaros cuando se posan en los cables de alta tensión?

Esta pregunta es tan vieja como la energía eléctrica. Se ha formulado casi tantas veces como «¿me quieres?», y se ha contestado con respuestas igual de poco convincentes. La respuesta común —«Los pájaros no se electrocutan porque no

hacen contacto con la tierra»— no llega a la raíz de la pregunta. ¿ Sabe alguien al que le dan esa respuesta lo que realmente significa «hacer contacto con la tierra»? ¿Qué tiene de especial tocar el suelo ? Como ya sabe, una corriente eléctrica es un flujo de electrones.

La palabra clave aquí es flujo.

A no ser que los electrones puedan fluir de un lugar a otro, no pueden hacer nada útil, o dañino, del mismo modo que una corriente de agua no puede hacer girar una rueda de molino si el agua está quieta como en una balsa. Para obtener una luz eléctrica, por ejemplo, hacemos circular electrones a través de un filamento fino de tungsteno, entrando por un extremo y saliendo por el otro. Al irrumpir a través del fino cable de tungsteno bajo la influencia de un empuje de 220 voltios, los electrones lo calientan tanto que brilla con luz blanca. Nótese que la tensión es el empuje; eso es lo que es el voltaje o tensión: una fuerza que empuja a los electrones de un lugar a otro a fin de que puedan hacer trabajo para nosotros.

Pero independientemente de lo alta que sea la tensión, los electrones no pueden hacer nada si no se les da un camino para atravesar. Los cables eléctricos son ese camino. Bajo la influencia de un empuje de alta tensión, los electrones son conducidos a lo largo de todo el camino desde las plantas generadoras hasta nuestras casas, donde pueden ser reconducidos para circular por una bombilla, una tostadora o una televisión.

¿Adonde van los electrones después de pasar a través de nuestros electrodomésticos ? Vuelven a la Madre Tierra, de donde la compañía eléctrica los obtuvo en primer lugar. ¿De dónde si no, por el amor del cielo, podría haberlos obtenido? ¿De la Luna? De modo que la Madre Tierra, a quien familiarmente nos referimos como «el suelo», es la fuente original de electrones en la planta generadora y su destino final cuando ya hemos terminado de hacerlos trabajar para nosotros. La Tierra está compuesta de billones y billones de átomos que contienen billones y billones de electrones. Como cálculo aproximado, el número de electrones que tiene la Tierra es de un uno seguido de 51 ceros. Eso es lo que yo llamaría una fuente inagotable.

Volvamos ahora a los pájaros. Sus patitas están ciertamente en contacto con muchos electrones que están esperando ser canalizados y devueltos a la tierra a través de su tostadora eléctrica. Pero por suerte para los pájaros, sus cuerpos no ofrecen un camino para que los electrones lleguen al suelo. Simplemente no están conectados a ninguna parte; son un callejón sin salida para los electrones.

De este modo no hay forma de usar los pájaros como conducto eléctrico hacia el suelo, y no circula electricidad por ellos. Por esa razón no experimentamos una lluvia de gorriones electrocutados. Y por cierto, ¿qué están haciendo esos pájaros en los cables de tensión en primer lugar, aparte de ensuciar su coche ? En invierno, al

menos, están allí porque la corriente eléctrica que atraviesa los cables genera una pequeña cantidad de calor que mantiene sus deditos calientes. Y ya que estamos, ¿cómo pueden dormir allí sin caerse? Cuando los músculos de sus patas están relajados, se tensan, en lugar de aflojarse tal como lo hacen los nuestros. Así que nunca se quede dormido mientras esté colgado de la rama de un árbol.

Puede que haya visto un operario de la compañía eléctrica, levantado desde un camión en un «cubo», trabajando sobre los cables eléctricos a manos desnudas. Está tan seguro como los pájaros, porque el cubo está completamente aislado del suelo. Los electrones no pueden encontrar un camino a través del cuerpo del operario hacia el suelo, así que no lo pueden hacer brillar como un filamento caliente y blanco de tungsteno.

Capítulo 4. La Tierra bajo nuestros pies

Hay otros planetas en el Universo, pero algo nos mantiene unidos a nuestra Madre Tierra. Se llama gravedad

La gravedad no sólo limita nuestros golpes de golf y hace que nuestro cuerpo se vuelva fondón con la edad, sino que sirve para un montón de cosas útiles, una de las cuales es evitar que la atmósfera salga volando de nuestra Tierra giratoria como si fuera un escupitajo desde una montaña rusa.

La gravedad hace que el polvo se pose y el aire caliente suba.

Hace un sinnúmero de grandes y pequeñas cosas por nosotros, como mantener la Luna arriba y las faldas abajo. Incluso nos permite obtener electricidad a partir del agua. La gravedad es ubicua. Incluso los astronautas no salen de casa sin ella.

Este capítulo intentará explicarle cómo opera esta fuerza de tan grande alcance (sus efectos se sienten a todo lo largo y ancho del Universo), a pesar de que todavía no podemos explicar por qué funciona.

La Tierra, por supuesto, está girando a más de 1.600 kilómetros por hora al tiempo que navega alrededor del Sol a más de 16.000 kilómetros por hora. Y ni siquiera estamos mareados (la mayoría de nosotros). Pero a pesar del hecho de que somos totalmente inconscientes de ello (y le diré por qué), estos movimientos tienen consecuencias cruciales en nuestra vida diaria. Afectan a los huracanes, las corrientes oceánicas y las mareas. Afectan —no causan— cada día, noche y estación de nuestras vidas.

Al examinar la Tierra bajo nuestros pies, visitaremos el centro de nuestro planeta, los polos Norte y Sur, el monte Kilimanjaro en Tanzania, un huracán arremolinado y una taza de retrete del tamaño de Norteamérica.

Y finalmente, para no pasar por alto el hecho de que las cosas vivientes constituyen un componente bastante importante de nuestro planeta, veremos cómo se usa la datación de radiocarbono para explorar las vidas pasadas de plantas, animales y humanos.

Una cuestión de gravedad

¿Por qué la gravedad intenta atraer todas las cosas hacia el centro de la Tierra? ¿Por qué al centro? ¿Por qué no La Meca o Disney World?

Porque el centro del planeta es el centro de la gravedad de la Tierra: su centro de

gravedad.

Ya ha oído la expresión «centro de gravedad» antes, y ahora es su oportunidad para entender lo que realmente significa. Pero antes, ¿qué es la gravedad o, más correctamente, la gravitación ?

La gravitación es una de las tres fuerzas fundamentales en la naturaleza. (Las otras dos son la fuerza nuclear fuerte, que mantiene los núcleos atómicos juntos, y la fuerza electrodébil, que dirige ciertos cambios radiactivos y es responsable de todos los efectos eléctricos y magnéticos.) ¿Y qué es una fuerza? Una fuerza es lo que hace que las cosas se muevan, y nadie puede definirlo mejor, a pesar de páginas y páginas de ecuaciones. La fuerza gravitatoria actúa entre dos pedazos de materia cualquiera e intenta juntarlos.

Cada partícula de materia en el Universo está atrayendo cada una de todas las demás partículas de materia, simplemente porque la atracción gravitatoria es una propiedad inherente de la materia. (Y nadie sabe exactamente por qué.) Pero como dos personas en una cita ideal, la gravitación no es una atracción en un solo sentido. Es mutua: cada cuerpo atrae al otro. Y cuanto más masa tenga un cuerpo —cuantas más partículas de materia contenga—, más fuerte será su fuerza de atracción acumulada. Es por eso por lo que cuando usted salta desde una escalera, la Tierra no cae hacia arriba para encontrarlo. La masa superior de la Tierra gana, y Mahoma va hacia la montaña, por decirlo de alguna manera.

(Si usted piensa que no sabe lo que es la masa, pásese por «El rincón del quisquilloso» al final de esta sección. Si piensa que sí que sabe lo que es la masa —y si piensa que lo sabe, lo sabe—, entonces continúe leyendo.) Si la masa es lo que atrae otras masas mediante gravitación, entonces la Tierra debería atraer objetos hacia donde la mayor parte de su masa esté concentrada —hacia algún sitio en el interior del planeta, más que en algún sitio de la superficie—. Pero aun así, ¿por qué el centro?

Considere lo siguiente: cada partícula de materia de nuestro planeta está atrayendo (y siendo atraída por) todas las demás partículas. Una partícula que está a sólo unos pocos metros de profundidad está siendo tirada hacia abajo por muchas más partículas que las que tiran de ella hacia arriba, porque hay muchas más partículas debajo que encima de ellas. Lo mismo puede decirse de todas las partículas que tienen más materia debajo de ellas que encima suyo, y, por lo tanto, todas son atraídas hacia abajo. ¿Hacia abajo adonde? Hacia el único lugar que tiene la misma cantidad de materia alrededor de él en todas las direcciones: el centro de la Tierra. De este modo, la Tierra actúa como si tuviera sólo un punto hacia el cual atrae todo por gravitación: su centro de gravedad.

El centro de gravedad de una bola de golf, entonces, está en su centro geométrico. Pero todo objeto, por muy complicada que sea su forma, tiene un centro de gravedad.

Es el único punto que es el centro de todas sus masas, que no es necesariamente el centro de su forma. La Madre Tierra no es una esfera perfecta; está ligeramente aplastada en los polos y, como el resto de nosotros, se ensancha más o menos en el ecuador. Su diámetro a través de los polos es cuarenta y dos kilómetros más pequeño que a través del ecuador. Todavía podríamos encontrar el centro geométrico de esta forma ligeramente inesférica y llamarlo el centro de gravedad, excepto que la masa de la Tierra no está distribuida uniformemente en su interior, y lo que cuenta es el centro de todas las masas en lo que concierne a la gravedad.

Por ejemplo, si hubiera una enorme masa de plomo enterrada unos cuantos kilómetros bajo Francia, el centro de gravedad estaría orientado hacia esa dirección. Un objeto que se dejase caer en Norteamérica caería ligeramente más hacia Francia que lo que ahora es «directo hacia abajo». Es más, Francia estaría más cerca del centro de gravedad de lo que está ahora y todo sería más pesado. El sonido de los souffles al caer sería ensordecedor.

Una aplicación casi increíble de este principio es el trazado de mapas del suelo oceánico mediante la medida de ligeros cambios en la gravedad causados por picos y valles submarinos. Allá donde hay una concentración de masa debido a una montaña submarina, la atracción gravitatoria sobre el agua que hay encima es más fuerte, de modo que las moléculas de agua tienden a gravitar hacia esa zona, como si se tratase de un imán. Eso forma una pequeña montaña de agua y un bulto en la superficie del océano que, tanto si lo cree como si no, puede ser detectado por un satélite a base de emitir señales de radar y ver cómo se reflejan. Y de forma inversa, cuando hay un valle submarino, la superficie del agua puede estar hundida hasta sesenta metros. De este modo, los científicos han elaborado mapas detallados del suelo de los océanos sin ni siquiera mojarse. Los libros de geología pueden mostrarle fotos asombrosamente realistas de los fondos de los océanos del mundo, como si las aguas hubiesen sido separadas por un Moisés de la era moderna.



El rincón del quisquilloso

La masa de un objeto es la cantidad de «materia» que contiene. Aquí en la Tierra, medimos la masa de un objeto colocándolo sobre una báscula que mide la fuerza con la que la gravitación de la Tierra tira de él hacia el suelo. Cuanta más masa, más fuerza de atracción. Llamamos a esa cantidad de atracción peso del objeto.

Por supuesto, la báscula está midiendo la cantidad de atracción mutua entre la Tierra y el objeto. Pero puesto que la atracción de la Tierra es siempre la misma, atribuimos la lectura de la báscula a la fuerza de atracción del propio objeto: su masa. Así que cuando la báscula de su cuarto de baño muestra una lectura más alta, no puede atribuirlo a un aumento en la masa de la Tierra. Es esa opresiva masa suya.

Un montón de aire caliente

Todo el mundo dice que el calor sube. Pero, por el amor del cielo, ¿por qué?

¿Por qué lo dicen o por qué sube?

Lo dicen porque hablan sin cuidado. La afirmación es solamente un montón de palabrería, porque el calor no sube. A lo que se refieren es a que el aire caliente se eleva. El calor es una de muchas formas de energía; es energía en forma de moléculas en movimiento. Pero no tiene sentido decir que una forma de energía se eleva, desciende o se arrastra de lado. Es cierto, la energía siempre va de un lado a otro y hace cosas muy raras; ésa es su misión. Mas no tiene ninguna dirección preferente, excepto, por supuesto, la energía gravitatoria, que en la Tierra muestra una preferencia por la dirección «abajo». (Pero eso sólo es porque el centro de la Tierra queda bajo nuestros pies, lo que nosotros definimos como «abajo».)

Pasamos nuestras vidas rodeados por un mar de aire, así; que cuando pensamos en algo que se eleva queremos decir que se está elevando a través del aire. Sólo el aire u otros gases pueden elevarse por el aire; los sólidos o líquidos no pueden simplemente porque son demasiado pesados, o densos. Esta última palabra, «denso», es la clave. La densidad de una sustancia nos dice lo pesado que es un determinado volumen de dicha sustancia. Por ejemplo, un litro de agua pesa un kilo, mientras que un litro de aire a temperatura ambiente a nivel del mar pesa alrededor de un gramo. En jerga técnica, diríamos que la densidad del agua es de una tonelada por metro cúbico y la densidad del aire es de un kilogramo por metro cúbico. Puesto que hay 1.000 kilos en una tonelada, podríamos decir que el agua es 1.000 veces «más pesada» (hablando estrictamente, «más densa») que el aire.

Todo el mundo, excepto los Estados Unidos de América y otras tres grandes potencias (Brunei, Myanmar y Yemen), usa el Sistema Internacional de Medidas (llamado «SI», de *Système International* en francés), lo que aprensivamente es referido desde Estados Unidos como el Sistema Métrico. En unidades del SI, las densidades del agua y el aire son realmente muy simples: un kilogramo por litro para el agua y un gramo por litro para el aire (a nivel del mar). Pero eso es en el caso del aire a temperatura ambiente. Como muchas otras cosas, el aire se expande al calentarse, puesto que a temperaturas más altas sus moléculas se mueven con mayor rapidez y requieren más espacio, así que se separan, dejando más espacio vacío entre ellas. Más espacio vacío significa que un litro del aire más caliente pesa menos. Ahora es menos denso de lo que era. Pero la pregunta de mil euros es: ¿qué hace que ese aire más caliente y ligero se mueva hacia arriba a través del aire más frío y pesado? Bien, y ¿qué significa «más pesado»? Significa que la gravedad está tirando

del aire frío con más fuerza que del aire caliente. (Hay más moléculas por litro de las cuales tirar.) Así que cuando el aire caliente y el frío se encuentran el uno cerca del otro, el aire frío será empujado hacia abajo a través del aire caliente. El aire caliente no tiene más alternativa que apartarse y ser desplazado hacia arriba. ¡Vean!, se ha elevado.

Cuando uno de esos bonitos globos de aire caliente despegan hacia el cielo azul, la gente que mira hacia arriba desde el suelo puede preguntarse qué fuerza lo está «empujando hacia arriba». Ahora ya sabe que no hay fuerza hacia arriba. Esa burbuja de aire caliente simplemente está siendo sometida a una menor fuerza hacia abajo, en comparación con el aire más frío que la rodea. Y eso tiene precisa, exacta y absolutamente el mismo efecto.



El rincón del quisquilloso

Cuando el aire caliente se eleva a través de la atmósfera, el mero acto de elevarse lo enfría. Ya sé que esto resulta paradójico, pero todavía no pase página. Cuando una masa de aire caliente se eleva, gana, por supuesto, altitud. Las masas de aire pueden ganar altitud, incluso si no están calientes, quizá al deslizarse sobre una montaña y ser forzadas a elevarse sobre su pendiente.

Sea cual sea la razón por la que una masa de aire se mueva hacia arriba, siempre debe haber la misma masa de aire que se mueva hacia abajo para reemplazarla. El resultado es que hay masas de aire que se elevan y descienden por todo el mundo. Veamos qué pasa con una masa de aire concreta que se eleva al obtener altitud.

A mayores altitudes, la atmósfera es menos densa. Esto es porque hay menos atmósfera sobre ella, así que no está bajo tanta compresión por la gravedad. (La gravedad empuja el aire hacia abajo igual que todo lo demás: el aire puede ser ligero, pero todavía tiene su peso,) En otras palabras, a mayores altitudes hay menos presión por la atmósfera, y eso permite que nuestra masa en ascensión se expanda. Pero para que pueda expandirse, las moléculas de la masa tienen que apartar las moléculas de aire que ya están ocupando ese lugar. Y eso gasta parte de la propia energía de la masa de aire. ¿Qué tipo de energía? La única energía que tiene el aire es el constante movimiento de vibración de sus moléculas.

De modo que al apartar otras moléculas, las propias moléculas del aire en expansión serán ralentizadas. Y moléculas más lentas son moléculas más frías, porque el calor en sí no es más que moléculas en movimiento. (Cuanto más rápido se mueven las moléculas de una sustancia, más caliente está, y cuanto más lento, más fría.) Por lo tanto, al tiempo que nuestra masa de aire se eleva y expande, se enfría.

Cuanto más alto sube una masa de aire caliente a través de la atmósfera cada vez menos densa, más se expande y más se enfría. Ésa es una de las razones por las que

hace más frío en lo alto de una montaña que en un valle. (Pero vea la página 136 para la razón principal por la que hace más frío a mayor altitud.) Sin duda habrá experimentado el enfriamiento automático de un gas en expansión, tanto si se ha dado cuenta o no, porque no hay nadie que no haya usado un aerosol de pintura, fijador, desodorante o cualquier otro spray. Coja el que tenga más a mano y pruebe lo siguiente.



Apuesta de bar

Apunte con un aerosol hacia una dirección inofensiva y manténgalo abierto durante tres o cuatro segundos. Notará que la lata se ha enfriado. El aerosol contiene un gas comprimido —generalmente propano, ahora que los clorofluorocarbonos (CFC) han sido proscritos porque dañan la capa de ozono—. Cuando pulsa la válvula para lanzar el líquido, el gas puede expandirse y empujar el líquido por la boquilla. Durante esa expansión, el gas se enfría.



No lo ha preguntado, pero...

¿Hay alguna forma de saber cuándo el propano de un hornillo se va a agotar en mitad de una barbacoa?

Es bastante difícil mirar dentro de ese bote de acero y ver cuánto propano queda antes de que encienda la parrilla, ¿verdad? No todas las parrillas tienen medidores de presión, pero en las ferreterías venden un pequeño indicador ingenioso que se parece a una banda de plástico porque lo es. Se engancha el plástico al exterior del bote y, al cambiar de color, le muestra exactamente dónde está el nivel de propano dentro del tanque. Funciona a base de detectar el enfriamiento del gas propano conforme fluye a través de la válvula durante su uso.



El propano en el interior del bote está bajo presión, de modo que realmente se halla en forma de líquido en su mayor parte, con algo de gas por encima de él. (Puede oír el líquido chapotear si sacude el bote.) Mientras quema sus hamburguesas, usted está extrayendo parte de ese gas, y más líquido se evapora para reemplazarlo. Esta evaporación enfría el gas, así que tiene una capa de gas frío sobre una capa de líquido más caliente.

La banda de plástico contiene cristales líquidos, que tienen diferentes propiedades ópticas a distintas temperaturas. Lo que le muestra, entonces, es un color sobre la superficie del líquido, reflejando la temperatura del gas frío, y otro color diferente bajo la superficie, reflejando temperatura del líquido más caliente. La línea entre los

colores es donde está situada la superficie del líquido dentro del bote. Verá que el medidor sólo funciona mientras esté extrayendo gas. Después de cerrar el bote, el gas se calienta y no hay diferencia de temperatura en su interior, ni tampoco distintos colores en el medidor.

Cuanto más alto, más frío

Cómo es que las cimas de las montañas altas, incluso en los trópicos, están cubiertas de nieve todo el año?

Obviamente, porque siempre hace más frío ahí arriba. Pero ¿por qué siempre hace más frío en lo alto de las montañas que en la costa? Al fin y al cabo, ¿no se eleva el aire caliente? ¿No debería, por lo tanto, hacer más calor ahí arriba? Ciertamente hay gran cantidad de aire caliente en Tanzania, pero el Kilimanjaro, que alza su pico 5.895 metros en la atmósfera tropical, siempre está cubierto de nieve.

Todo comienza con el Sol. ¿Y qué no? Con la única excepción de la energía nuclear, el Sol es la fuente de todo el calor y todas las otras formas de energía en la Tierra. Cuando el Sol ilumina la Tierra, su luz pasa de forma bastante transparente a través de la atmósfera, como debe haber concluido a partir del hecho de que usted puede ver el sol. No le ocurre mucho a la luz hasta que golpea la superficie del planeta. Entonces, los varios tipos de superficies —océanos, bosques, desiertos, carrocerías de coche, Yul Brynner— absorben la luz solar y se calientan (y en algunos casos se ponen morenos). Esto hace que toda la superficie de la Tierra sea un radiador gigante, y cualquier cosa cerca de ella —como el aire que tiene encima— también será calentada, del mismo modo que usted se calienta cuando se coloca cerca de un radiador en una casa con calefacción de ese tipo. (Un radiador, como era de esperar, es algo que irradia radiación de calor.)

Parece razonable, entonces, que cuanto más cerca esté de la superficie radiante de la Tierra, más calor obtendrá de ella, igual que si se colocase más cerca del radiador de una casa. Así que el aire más cercano a la superficie de la Tierra es el que más se calienta, y cuanto más alto se sube, más frío será el aire —lo bastante frío sobre unos 3.000 metros como para que todas las precipitaciones sean en forma de nieve que casi nunca se derrita.

(Una razón menos importante por la que hace frío en las montañas es que, conforme las masas de aire ascienden por las laderas, se expanden como consecuencia de la menor presión atmosférica, y cuando los gases se expanden, se enfrían. (Vea la página 117.)

¿Cómo transmite exactamente la Tierra su calor al aire encima de ella, una vez ha

sido calentada por el Sol? Sobre todo, por radiación —del mismo modo que un radiador lo calienta—. Pero la radiación no es la única forma en la que el calor puede ser transmitido desde una sustancia caliente a otra más fría. También puede moverse por conducción y por convección. Echemos un vistazo a cada uno de estos mecanismos.

- **Conducción:** cuando coge el mango caliente de una sartén (¡NO PRUEBE ESTO EN CASA!), el calor viaja a su mano por conducción. La energía calorífica está siendo conducida, o transmitida, mediante contacto directo entre moléculas. Las moléculas de la sartén caliente golpean contra las de su piel y les pasan el calor directamente a ellas. Suelta un grito y la sartén rompe este contacto entre las moléculas. (En realidad, el grito no hace mucho.) Por desgracia, el calor ya estará en su piel, y continuará haciendo daño y reemplazando su grito por una cadena de interjecciones. (Consejo: ese calor seguirá en su piel, doliendo durante más tiempo del que se espera, porque la carne es un mal conductor del calor. En el caso de una quemadura pequeña, elimine ese calor lo antes posible colocando la parte quemada bajo el grifo de agua fría.)
- **Convección:** cuando abre la puerta del horno rápidamente para echar un vistazo al pavo y siente una bocanada de aire caliente en su cara, es el aire el que transporta el calor hacia usted. Eso es convección: calor siendo transportado por un fluido en movimiento, como aire o agua. En este caso, el calor se mueve haciendo autostop sobre el aire. Cuando el aire caliente se eleva, el calor se mueve hacia arriba por convección. Los hornos llamados de convección son hornos ordinarios con ventiladores en su interior que hacen circular el aire caliente, lo que acelera la cocción. **Radiación:** la próxima vez que esté en el taller de un herrero (de acuerdo, pues imagínese), notará que puede sentir el calor de su horno al rojo vivo sobre su cara a través de la habitación. No está tocando nada caliente, así que no es conducción. Y no hay aire en movimiento, así que no es convección. El calor lo está alcanzando por radiación: radiación infrarroja.

El infrarrojo es un tipo de radiación electromagnética, como la luz visible, pero con una longitud de onda mayor que los ojos humanos no pueden ver. Lo que es propio de ella es que es de la longitud de onda justa que la mayoría de sustancias pueden absorber, «engullendo» su energía y siendo calentadas por ella. La radiación infrarroja no es calor de por sí, a pesar de lo que muchos libros puedan decirle; yo lo llamo «calor en tránsito». Es emitida por objetos calientes y viaja a través del espacio a la velocidad de la luz, pero no se convierte realmente en calor hasta que alcanza alguna sustancia y es absorbida por ella. Sólo una sustancia puede estar caliente, puesto que el calor es el movimiento de moléculas, y sólo las sustancias —no las radiaciones— tienen moléculas.



No lo ha preguntado, pero...

¿El aire se va volviendo más y más frío sin límite según subimos más y más alto?

No, pero sí que se sigue volviendo frío —con una media de 6,5 grados Celsius por kilómetro— hasta cerca de 10.000 metros sobre el nivel del mar. Eso está justo por encima de la altura de crucero de los grandes jets comerciales. Puede que haya oído al capitán del avión intentando impresionarla, cuando al volar a esa altura anuncia que la temperatura al otro lado de su frágil ventanilla es de unos 40 grados Celsius bajo cero.

Menos mal que la ventanilla tiene doble aislamiento. Por encima de unos 10.000 metros, se encuentra en la estratosfera, donde el aire deja de ser más frío conforme sube; se mantiene constante a unos 48 grados Celsius bajo cero durante los siguientes veinte kilómetros, y a continuación empieza a volverse más caliente. Por encima de la estratosfera, la temperatura hace un par de otros Intercambios, volviéndose primero más fría y luego otra vez más caliente.

¿Qué está ocurriendo?

El aire tiene algunas diferencias en la composición química a distintas altitudes. Las moléculas más pesadas (dióxido de carbono, argón) tienden a sedimentarse hacia el fondo de la atmósfera, mientras que las más ligeras (helio, neón) tienden a elevarse a la cima del montón. Puesto que esas diferentes moléculas absorben las energías del Sol en formas distintas, se calientan de forma distinta. La estratosfera, por ejemplo, es donde se halla la mayor parte de moléculas de ozono. El ozono absorbe gran cantidad de la radiación ultravioleta (de longitud de onda muy corta), lo cual lo calienta y hace la estratosfera más caliente de lo que sería en otro caso. La atmósfera de la Tierra es un sistema bastante complicado.

¿Más allá de la atmósfera? Ha oído que la temperatura en el espacio exterior es extremadamente fría, ¿verdad? Pues bien, no lo es.

No es el frío, es la humedad

A menudo he oído decir a la gente que hace demasiado frío como para nevar. ¿Hay algo de verdad en eso?

Es cierto que cuando hace mucho frío no nieva, pero la afirmación es engañosa. Cuando la temperatura está por debajo del punto de congelación y se cumplen otras condiciones adecuadas para que nieve, el hecho de que nieve o no es puramente una

cuestión de disponibilidad de vapor de agua.

En muchos casos, para que nieve debe haber primero pequeñas gotitas de agua líquida en el aire que puedan helarse en forma de copos de nieve. Pero cuando el agua está muy fría, prefiere quedarse donde está, básicamente en forma líquida, de modo que no contribuye mucho al vapor de agua del aire. Así, a temperaturas muy bajas sencillamente no hay suficiente agua en el aire como para que se formen esas gotitas que se podrían helar y caer en forma de nieve. Por supuesto, si ha estado haciendo mucho frío durante cierto tiempo, la mayoría de los suministros de agua estarán inaccesibles para la producción de vapor, puesto que se habrán helado.

En esas fotos del National Geographic de blancas y cegadoras borrascas del Antártico, no está nevando —se trata de ventiscas—. Vientos muy fuertes mueven la nieve suelta que ya ha caído. ¿Y cuándo cayó esa nieve? Durante los períodos de temperaturas más suaves (pero todavía heladas), cuando el vapor de agua era más abundante.

!? No lo ha preguntado, pero.

¿Qué polo es más frío, el Norte o el Sur?

El polo Sur, donde la temperatura media es de unos 49 grados Celsius bajo cero. En el polo Norte, la temperatura media es de unos relativamente apacibles 29 grados Celsius bajo cero. La Antártida es en realidad un continente, donde el hielo y la nieve cubren una enorme masa de tierra, mientras que la pequeña costra de hielo del Ártico flota sobre el océano Ártico. El polo Sur en sí está a una altitud de unos 3.700 metros y siempre hace más frío a mayor altura. Es más, la mucho mayor capa de hielo y nieve del polo Sur irradia el calor hacia fuera más rápido una vez el sol se ha puesto. Y otro factor es que el agua no se calienta y enfría tan fácilmente como lo hace la Tierra, lo que evita que la temperatura en el polo Norte descienda hasta valores extremos.

 **Apuesta de bar**

Se está mucho más templado en el polo Norte que en el polo Sur.

!!! Yujuuuuuú!

Si toda la Tierra está girando a 1.600 kilómetros por hora, ¿por qué no nos mareamos, notamos el viento o notamos el movimiento de alguna

manera? ¿Es porque estamos acostumbrados?

No, es porque la rotación de la Tierra es un movimiento uniforme y sin variación, y sólo podemos notar los cambios en un movimiento (enjerga técnica, aceleración). Siempre que un objeto en movimiento es desviado de su trayectoria, ya sea por un cambio en su dirección o en su velocidad, decimos que ha experimentado una aceleración. La aceleración no significa solamente ir más rápido.

Pongamos que usted es un pasajero en un coche que se mueve en una línea recta y está funcionando con el control de velocidad de crucero —ese dispositivo automático que mantiene la velocidad del coche constante—. No nota ninguna fuerza empujando su cuerpo, ¿verdad? Pero en cuanto la carretera cambia de recta a curva, su cuerpo se da cuenta de ello, porque es empujado ligeramente hacia el exterior de la curva. O si el conductor pisa de repente el pedal del gas (el «acelerador»), su cuerpo se percata porque es empujado ligeramente contra el asiento. O si el conductor pisa de repente el freno (otro acelerador, pero que disminuye en lugar de aumentar la velocidad del coche), su cuerpo se da cuenta de ello porque es empujado ligeramente hacia la parte delantera del vehículo. Pero siempre que el coche no acelere o frene o tome una curva (en jerga técnica, aceleración angular), su cuerpo no siente fuerzas que lo intenten empujar. En efecto, su cuerpo no sabe que se está moviendo, aunque su cerebro sí lo sepa.

Pues bien, su cerebro sabe que la Tierra está girando, pero su cuerpo no, porque el movimiento es suave, uniforme y continuo. Tal como Isaac Newton dijo en su primera ley del movimiento, un cuerpo (incluido el suyo) que se está moviendo a una velocidad constante en línea recta, seguirá moviéndose de ese modo a no ser que alguna fuerza externa actúe sobre él. Sin dicha fuerza externa, el cuerpo (incluido el suyo) ni siquiera se da cuenta de que se está moviendo. Pero, protestará usted, ciertamente estamos siendo transportados a lo largo de una curva, ¿no? Estamos siguiendo la curvatura de la superficie de la Tierra. Puede ser una velocidad constante, pero no es una línea recta. Así que ¿por qué no estamos siendo lanzados hacia fuera? Pues bien, lo estamos. Pero la curvatura es tan gradual —la Tierra es tan grande— que el recorrido circular es virtualmente una línea recta, de modo que la fuerza hacia fuera es minúscula (pero vea la página 147). Si piensa en ello, incluso su coche en esa carretera perfectamente recta se movía sobre la misma gran curva: la curvatura de la Tierra. Si continuase por esa línea recta el tiempo suficiente, volvería al punto del que salió.

Todo esto es muy desalentador para los diabólicos diseñadores de los parques de atracciones, que quieren que experimentemos el movimiento al máximo. Nos hacen sentir deliberadamente desequilibrados, inestables, precarios, desorientados, empujados e inseguros. Por eso, nada en todo el parque se mueve a velocidad

constante y en una única dirección, excepto quizá el flujo hacia fuera del dinero de su cartera. Cada atracción lo hace girar, o bien lo lanza arriba y abajo, o lo arroja a través de una serie de alocadas combinaciones de arriba, abajo y vueltas de todo tipo al mismo tiempo. Las mejores (?) montañas rusas son las que combinan subidas y bajadas con aceleraciones, frenazos, curvas y tirabuzones. Estos cambios de movimiento, que claramente podemos sentir, entran todos dentro de la categoría de aceleraciones. Incluso el tiovivo lo está acelerando, porque lo está desviando continuamente de una línea recta, forzándolo a girar en un círculo.

Oh, ¿preguntó usted por qué no notamos el viento mientras el tiovivo cósmico llamado Tierra nos hace dar vueltas? Es porque el aire está siendo transportado a la misma velocidad que nosotros, nuestros coches, nuestras casas, e incluso nuestros aviones. Así que no hay movimiento relativo entre nosotros y el aire.

Este mundo mareado

Si la Tierra está girando a unos 1.600 kilómetros por hora, ¿por qué no la puedo ver mover bajo mis pies cuando estoy en un avión que vuela mucho más despacio?

Porque incluso cuando está volando a una isla remota para olvidarse de todo, no puede evitar ser parte de ese «todo». Su avión está adosado a la Tierra casi tan fuertemente como las montañas de debajo, excepto que el avión está (esperemos) a una mayor altitud. Su piloto sería el primero en asegurarle que el avión está fuertemente sujeto al aire. Y puesto que el aire está pegado a la Tierra, podría decirse que todos estamos en el mismo barco, navegando alegremente hacia el este junto con la superficie de la Tierra a unos 1.600 kilómetros por hora. (La velocidad del suelo es realmente de 1.670 kilómetros por hora en el ecuador: la circunferencia ecuatorial de 40.100 kilómetros dividida por veinticuatro horas.

Pero es más lenta conforme vamos hacia el norte o hacia el sur en el globo terráqueo porque 'el recorrido circular se vuelve más pequeño.) Usted, por supuesto, puede ver el suelo «moviéndose» bajo sus pies mientras vuela.

Pero es el movimiento del avión lo que está viendo, no el del suelo. Es lo mismo que ver los árboles «moverse hacia atrás» mientras avanza por la autopista en su coche. Ése es un punto muy importante que tener en cuenta: No existe el movimiento absoluto. Todo movimiento es relativo. No puede decirse que nada se esté moviendo o esté inmóvil sin especificar «¿con respecto a qué?».

El movimiento es movimiento sólo cuando es comparado con otro punto de referencia independiente (en jerga técnica, un marco de referencia). Para los árboles,

usted y su coche se están moviendo, pero para usted y su coche, los árboles se están moviendo. ¿Quién tiene razón? Si hubiese nacido en su coche hace unos segundos, juraría que son los árboles los que se mueven, usándose intuitiva y egoístamente a sí mismo como el punto de referencia. Sólo con la experiencia aprendemos a aceptar puntos de referencia fuera de nosotros. Si cada conductor se tomase a sí mismo como el punto de referencia, los árboles se estarían «moviendo» en todas direcciones y a todas velocidades, porque el punto de referencia egocéntrico de cada persona se estaría moviendo en diferentes direcciones y a diferentes velocidades. Los árboles estacionarios, en cambio, son mucho más fáciles de tratar, de modo que los humanos hemos acordado tomar los árboles y el suelo al que están pegados como nuestras referencias estacionarias. Pero alejémonos un poco más y adoptemos una visión más amplia de la Tierra.

Cuando decimos que una palmera en el ecuador se está moviendo con el suelo a 1.670 kilómetros por hora, tenemos que preguntar: «¿Con respecto a qué?». Bien, ¿qué tal con respecto al centro de la Tierra? Ése es el único punto en todo el planeta que no se está moviendo en círculos. En otras palabras, estamos tomando el centro de la Tierra como nuestro punto «estacionario» de referencia. Pero ¡ahí va! Alejémonos un poco más. Todo el planeta se está moviendo alrededor del Sol a unos 17.100 kilómetros por hora en relación al centro del Sol, que ahora podemos tomar como nuestro nuevo punto de referencia. Pero el Sol mismo se está moviendo en relación con otras estrellas. Y las estrellas se están moviendo con relación al centro de nuestra galaxia. Y nuestra galaxia...

Y así sucesivamente, literalmente hasta el infinito.

Antes de que nos mareemos demasiado, volvamos al avión. Sentados allí, cualquier punto del avión es su punto de referencia asumido, así que ve la Tierra «moviéndose hacia atrás» a la velocidad (hacia delante) del avión. Pero recuerde que usted y su bolsita de cacahuetes y ese bebé gritón del otro lado del pasillo se están moviendo juntos a aproximadamente la velocidad de rotación de la Tierra, con relación al centro de la Tierra. Y digo «aproximadamente» porque si está volando hacia el este en la misma dirección que la rotación de la Tierra, la velocidad del avión (relativa al centro de la Tierra) es sumada a la velocidad de rotación de la Tierra; si está volando hacia el oeste en dirección contraria a la rotación de la Tierra, la velocidad del avión es restada de la velocidad de rotación de la Tierra. Si está volando hacia el noreste o sursuroeste, consulte con el profesor de trigonometría de su escuela. ¿Puede decir «vector»?



El rincón del quisquilloso

Dije que el avión está firmemente sujeto a la Tierra en rotación porque está

firmermente sujeto al aire y el aire, a su vez, está firmermente sujeto a la Tierra. Bien, no exactamente.

El aire es un fluido, lo que significa que no es rígido: fluye. De modo que mientras la Tierra gira, el aire no puede seguirla con total precisión; se arrastra un poco como un charco sobre una barca de remos, Aunque el avión está ciertamente sujeto con firmeza al aire, el aire está en cierto modo sujeto de forma algo laxa a la Tierra. Esto no quiere decir que estemos en peligro de perder nuestra atmósfera; la gravedad mantiene toda la capa de aire junto a la Tierra con bastante firmeza, Pero dentro de esa capa, el aire es una masa en movimiento, y las irregularidades locales todavía pueden golpear su avión con vientos de cola, vientos de frente y baches que hacen saltar el café de las tazas, y que le hacen sentir que no está muy sujeto a nada.



No lo ha preguntado, pero...

Si no puedo ver la Tierra girando desde un avión, ¿pueden los astronautas verla girar cuando miran desde su transbordador en órbita?

No, aunque están mucho más alto y moviéndose mucho más rápido que un avión, la situación sigue siendo la misma. Para ellos, la superficie de la Tierra parece estar «moviéndose hacia atrás» a su velocidad de 29.000 kilómetros por hora, tal como lo ve usted cuando está en un coche o un avión. La única diferencia es que como consecuencia de su mayor velocidad, pueden ver todo un continente «moviéndose» en menos tiempo del que probablemente le ocupe conducir al trabajo. Puede que haya visto películas de astronautas en paseos espaciales con los continentes «moviéndose» hacia el oeste al fondo.

Pero ¿por qué hacia el oeste? ¡Aja! Ésa es una historia interesante. ¿Se ha preguntado alguna vez por qué el Centro Espacial Kennedy se construyó en la costa este de Florida, en lugar de en la costa oeste de California? Al fin y al cabo, Mickey Mouse es Igual de accesible en ambas costas. En primer lugar, queremos lanzar nuestros cohetes sobre un océano, y no sobre un área poblada, para que los propulsores de lanzamiento puedan ser lanzados al mar de forma segura. Pero en segundo lugar, y más importante, tenemos que lanzar nuestros transbordadores y satélites en sus órbitas alrededor del planeta disparándolos hacia el este, en la misma dirección en la que la superficie de la Tierra se mueve. De este modo obtenemos un empuje gratis de 1.600 kilómetros por hora de nuestra Madre Tierra. Y eso significa el océano Atlántico, al este, en lugar del océano Pacífico, al oeste. Una vez el transbordador está en órbita, continúa volando hacia el este, y al mirar hacia abajo, los astronautas ven la superficie de la Tierra moverse aparentemente hacia el oeste, como si estuvieran en un avión volando de Los Ángeles a Nueva York.

Pero con mucho más espacio para las piernas.

Cómo perder peso

No estoy seguro de si esto es ciencia o un acertijo, pero mi hija de diez años me preguntó si un oso polar pesaría menos en el ecuador de lo que pesa en el polo Sur.

Son las dos cosas. La parte de acertijo es que el oso polar vive en el polo Norte, no en el polo Sur. Es más, un oso polar en el ecuador no sería un oso polar, ¿no? Sería un oso ecuatorial. Pero tomemos la pregunta de forma estricta; es decir, ¿pesaría menos un oso —o cualquier otra cosa a este respecto— en el ecuador de lo que pesa en alguno de los polos?

Si todo lo demás es igual (y por supuesto, nunca lo es), la respuesta sería que sí. Ligeramente. En primer lugar, como la Tierra se ensancha un poco en el ecuador, el oso estaría un poco más lejos del centro de la Tierra y la atracción de la gravedad sería, por lo tanto, un poco más débil. Pero lo que su hija sin duda tenía en mente era el efecto de la rotación de nuestro planeta, que es una vuelta completa cada veinticuatro horas. (¿No es una coincidencia genial? Por supuesto que no. Así es como los humanos hemos definido las veinticuatro horas desde el principio.) En el ecuador, que mide 40.070 kilómetros de diámetro, eso resulta en una velocidad en la superficie —palmeras, osos y todo lo demás— de 1.670 kilómetros por hora. De vuelta al polo Norte exacto, en cambio, el oso no estaba moviéndose; sólo estaba girando sobre sí mismo, en el centro del ti vivo.

Debido a la rápida velocidad de giro de la Tierra, los osos (y todo lo demás) están sujetos a una fuerza centrífuga que tiende a lanzarlos hacia fuera del planeta, igual que un perro lanza el agua fuera de su espalda al girar rápidamente después de tomar un baño. Pero la razón por la que el espacio de alrededor de la Tierra no está lleno de osos volando es que la mucho mayor fuerza gravitatoria del planeta los mantiene firmemente en el suelo. Así y todo, la fuerza centrífuga disminuye ligeramente la acción de la fuerza gravitatoria terrestre, de modo que el peso de un oso ecuatorial disminuye ligeramente —en algo más de un 0,3%—. Un oso de 360 kilos pesaría 1,4 kilos menos en el ecuador de lo que pesa en el polo Norte. En términos humanos, una persona de 68 kilos pesaría 200 gramos menos en el ecuador que en el polo Norte. Por supuesto, éstos son los extremos. En cualquier punto entre el ecuador y los polos, la velocidad de rotación del planeta está entre cero y la velocidad ecuatorial, porque la distancia que se recorre en un giro es menor. Así que hay una pérdida gradual de

peso conforme uno avanza hacia el ecuador desde cualquier punto del hemisferio norte o sur. Si usted pesa 68 kilos en la latitud de Washington, D. C., y Madrid, por ejemplo, pesaría 14 gramos menos en el ecuador.

De todas formas, ésa no es una estrategia muy efectiva para perder peso, a no ser que llegue allí caminando.

!? No lo ha preguntado, pero...

¿Pesaría menos en el fondo de una mina que en la superficie?

Oiga, ¡realmente tiene ganas de perder peso!. Sí, pesaría ligeramente menos. Probablemente está pensando que su peso es una consecuencia de la atracción gravitatoria de la Tierra sobre su cuerpo, y que si está bajo la superficie la gravedad ya ha hecho parte de su trabajo, de modo que queda un poco menos de atracción. Bueno, hay algo relacionado con eso, aunque yo lo explicaría de forma distinta.

La fuerza gravitatoria entre dos objetos actúa como si estuviera viniendo de los centros de gravedad de los objetos. Esto es, actúa como si toda la masa de cada cuerpo estuviera concentrada en esos precisos lugares. Para un objeto uniforme y de forma regular como una esfera, el centro de gravedad es el mismo que su centro geométrico.

Aunque la Tierra no es una esfera perfecta, está lo bastante cerca como para que podamos decir que su atracción gravitatoria tira hacia el centro de ella. Cuando está en la superficie, está (como media) a unos 6.371 kilómetros del centro de la Tierra, el centro de toda su atracción. En el fondo de una mina a un kilómetro de profundidad, está siendo tirado hacia el centro por menos masa de Tierra que antes, porque parte de la masa de la Tierra está por encima de usted y ya no está contribuyendo a la atracción hacia el centro. (En realidad lo está atrayendo hacia arriba.) Si hay menos masa tirando hacia el centro, su peso es inferior, porque ésa es la definición de su peso: la fuerza con la que la Tierra tira de su cuerpo hacia el centro. ¿Cuánto menos pesaría? Al fondo de una mina de dieciséis kilómetros, pesaría un 0,7% menos que en la superficie. Sin contar todo el peso que perdería cavando.

Curiosamente, cuanto más alto vaya por encima de la superficie, menos pesará también. Pesaría menos en la cima de una montaña que en el fondo de un valle, porque estaría más lejos del centro de la Tierra.

¡Pero espere! Deje estar ese equipamiento de escalada de montaña que ha comprado por correo a esos charlatanes del adelgazamiento. Si pesa 68 kg al nivel del mar, pesaría sólo 200 gramos menos en la cima del monte Everest, el punto más alto de la Tierra. No valdría la pena la escalada, ¿verdad? Excepto por el ejercicio, claro.

Remolinos de sabiduría

¿Es cierto que los retretes arremolinan el agua en sentido antihorario en el hemisferio norte y en sentido horario en el hemisferio sur?

No. Es sólo una de esas leyendas urbanas, probablemente iniciada por un profesor de física entusiasta. Pero está basada en una pizca de verdad.

Los fluidos en movimiento como el aire y el agua se ven ligeramente afectados por la rotación de la Tierra. El fenómeno se llama el efecto de Coriolis, en honor del matemático francés Gustave Gaspard Coriolis (1792-1843), que fue el primero en darse cuenta de que un fluido en movimiento en la superficie de una esfera en rotación (como por ejemplo la Tierra) sería desviado de su recorrido. Y por cierto, es el efecto de Coriolis, y no la fuerza de Coriolis, como muchos libros e incluso algunas enciclopedias lo llaman.

Una fuerza es algo en la naturaleza que puede mover cosas, como la fuerza gravitatoria o una fuerza magnética. Pero el efecto de Coriolis no mueve nada; es puramente un resultado de dos movimientos existentes: el movimiento del aire o agua, siendo afectado por el movimiento del planeta Tierra. El efecto de Coriolis es tan débil, de todas formas, que sólo se muestra en enormes masas de líquidos y gases como los océanos y la atmósfera de la Tierra, afectando a los vientos y las corrientes de forma significativa. Pero incluso si fuera mucho más fuerte, el efecto de Coriolis no se mostraría en la taza de un retrete, ya que el agua se arremolina por una razón muy distinta: los chorros de agua de debajo del borde. Los diseñadores de los retretes lanzan el agua en una tangente, para que forme siempre un remolino. De los dos retretes de mi casa, uno lanza el agua en sentido horario, mientras que el otro la lanza en sentido antihorario. Y están en el mismo hemisferio. (Es una casa pequeña.) Por otra parte, no hay chorros de agua en un lavabo o bañera, así que cuando el agua baja por el desagüe la dirección del remolino es totalmente arbitraria. El agua que se vacía por un desagüe acaba por hacer un remolino que gira en una u otra dirección, porque mientras sus porciones exteriores se mueven hacia el desagüe, no pueden lanzarse todas hacia el centro al mismo tiempo. Un remolino es la forma que tiene el agua de hacer cola y tomar turnos, mientras deja un agujero en el centro para que el aire pueda salir de las cañerías. Si el aire no tuviera un lugar para salir a la superficie, impediría que el agua bajase.

Pero ¿hay alguna preferencia hemisférica, por pequeña que sea, por la dirección del remolino en un lavabo o bañera?



Haga la prueba

Llene su lavabo o bañera y deje que el agua se calme durante una semana para que no haya corrientes o diferencias de temperatura que puedan favorecer una u otra dirección, Ahora abra el desagüe sin afectar de ningún modo el agua (buena suerte). El agua empezará a vaciarse y acabará por formar un remolino. Repita este experimento mil veces y anote el número de ocasiones en que va en sentido horario y antihorario.



¿No tiene el tiempo o la paciencia para hacer esto? Bien. Olvídese. Su lavabo y bañera están condenados al fracaso de todas formas, porque el desagüe no se halla en el centro y las corrientes de agua no serían simétricas. Se supone que los remolinos son circulares. Los científicos que aparentemente tienen poco que hacer han realizado este experimento con la «bañera» más grande que pueda imaginarse, construida con gran cuidado, con control de temperatura, libre de vibraciones y con desagüe central automático, y han sido incapaces de detectar ninguna preferencia por una u otra dirección. En otras palabras, no era el efecto de Coriolis lo que determinaba la dirección del remolino, sino otros varios factores incontrolables. Eso apenas es sorprendente, de todas formas, porque podemos calcular la magnitud del efecto de Coriolis que sería de esperar. En una bañera de tamaño normal sería tan débil que apenas podría mover el agua para dar una vuelta al día —nada suficiente como para contrarrestar los efectos causados por corrientes de causas inadvertidas. He aquí el detalle de cómo funciona el efecto de Coriolis.

Imáginese la Tierra como un globo, con Norteamérica mirando hacia usted. Ahora sustituya Norteamérica por una enorme taza de retrete. Su desagüe estaría centrado en algún lugar de Dakota del Sur (sin ánimo de ofender a los de Dakota del Sur). Y digamos que no lanza chorros de agua, de modo que la dirección de desagüe la puede determinar por completo monsieur Coriolis. El globo, con su retrete y todo, está girando de su izquierda a su derecha —de oeste a este; ésta es la forma con la que gira la Tierra—. Pero la superficie de la Tierra se mueve más rápido en el ecuador que más hacia el norte, igual que un caballito en el borde de un tiovivo se mueve más rápido que uno cerca del centro. Esto es así porque un punto en el ecuador tiene que viajar mucha más distancia para cada rotación que un punto cerca del polo Norte. De este modo, cuando desde cualquier parte del hemisferio norte usted conduce su coche hacia el norte, cuanto más avanza, más despacio lo mueve hacia el este la superficie de la Tierra. Usted no se percata de eso, por supuesto, porque usted y su coche están firmemente sujetos a la superficie de la Tierra y se

mueven junto con ella. El aire y el agua, de todas formas, son diferentes; sólo están levemente sujetos a la superficie de la Tierra, y son libres de arrastrarse un poco. Por eso, el efecto de Coriolis sólo puede afectar al aire y al agua. Ahora suponga que está en el retrete de Norteamérica, flotando en un barco de remos en algún punto al sur del desagüe —por ejemplo, en Texas—. En cuanto empieza a remar hacia el norte en busca del desagüe (alejándose del ecuador), la Tierra lo está transportando hacia el este más y más despacio. Pero su inercia tejana lo hace seguir moviéndose hacia el este a la mayor velocidad de Texas; está adelantando la superficie de la Tierra. ¿Cuál es el efecto neto? En relación con la superficie de la Tierra, se ha desplazado hacia el este. Ha sido forzado a girar ligeramente hacia su derecha, de recto hacia el norte a ligeramente hacia el este. De forma similar (demuéstreselo a usted mismo), una barca flotando hacia el sur desde Canadá también será desviada hacia su derecha: ligeramente hacia el oeste. Así que, sea cual sea la dirección con la que el agua (y su barca) empiece en su recorrido hacia el desagüe, si está en el hemisferio norte siempre será persuadida a girar a la derecha. Y los giros a la derecha van en sentido horario. (Pero no se vaya hasta que haya visitado «El rincón del quisquilloso».)

Lo libraré de varios párrafos más de mecánica de retretes, pero déjeme decir que en el hemisferio sur todo funciona al revés. Las grandes masas de aire y agua en movimiento reciben un giro hacia la izquierda, y, por lo tanto, tienden a arremolinarse en sentido antihorario. Pero recuerde: la masa de agua debe ser enorme antes de que pueda ver mucho efecto. Los océanos, sí; los lavabos y bañeras, no.



El rincón del quisquilloso

De acuerdo, así que los ciclones y huracanes giran en sentido antihorario en el hemisferio norte y en sentido horario en el hemisferio sur —exactamente al contrario de lo que lo he llevado a pensar—. Pero mantenga sujeta la caballería, todo quedará claro.

Y mantengámonos en el hemisferio norte, ¿de acuerdo?

Los ciclones se forman en áreas de aire de bajas presiones. Esto significa que el aire allí es claramente menos denso y menos pesado que el aire que lo rodea; es como una especie de agujero en el aire. Ahora, si por el efecto de Coriolis, todo el aire más pesado que rodea al «agujero» tiende a virar a la derecha, esto haría que el «agujero» en sí girase hacia la izquierda. Así, el huracán resultante de baja presión gira en sentido antihorario. ¿No? Bien, ¿y qué tal esta otra explicación? La zona de baja presión es una rueda de ruleta y usted es el aire de alta presión. Al lanzar su mano hacia la derecha roza con el borde de la rueda. ¿No haría esto girar la rueda a la izquierda? O esta otra: usted está empujando unos niños en uno de esos carruseles de parque. Lo empuja hacia la derecha y los niños giran hacia la izquierda, ¿verdad?

0..., oh, diablos, simplemente mire el diagrama inferior.

¿Y qué hay del hemisferio sur? Simplemente Intercambie todos los «izquierda» y «derecha» en los últimos cuatro párrafos y todos los «sentidos horarios» cambiarán de sentido.



BONUS: he aquí su recompensa por leer todo esto sin que su cabeza gire en sentido horario o antihorario: voy a decirle por qué todos nuestros relojes giran en sentido horario. Es porque los primeros relojes mecánicos fueron inventados en el hemisferio norte.

¿No es obvio? Considere lo siguiente.

Para un observador en el hemisferio norte, el sol siempre está en algún punto al sur en el cielo. Al mirar hacia el sur hacia el sol, un observador del hemisferio norte lo ve moverse por el cielo de este a oeste, lo que para él es de izquierda a derecha. Las agujas horarias de los primeros relojes —y al principio sólo había agujas horarias— intentaban imitar este movimiento de izquierda a derecha del sol. Y por eso estaban fabricadas para moverse a través de la parte superior de la esfera horaria en la dirección que ahora llamamos «horaria». Cuando el refinamiento de la aguja minuterá apareció hacia el final del siglo XVI, por supuesto, fueron fabricadas para moverse en la misma dirección. ¿Se imagina un reloj con la aguja horaria girando en una dirección y la minuterá en la otra dirección?



Apuesta de bar Si los relojes mecánicos hubiesen sido inventados en Australia, todos estarían girando en sentido antihorario.

El equinoccio infernal

¿Es cierto, como dicen algunos, que durante el equinoccio vernal es posible mantener un huevo de pie?

Por supuesto. Y durante el equinoccio de otoño también. Y los martes en febrero, y en cualquier momento del cuarto partido del Mundial cuando el marcador está 2 a

3. ¿Lo pilla? La cuestión, desde luego, es que los equinoccios no tienen nada que ver con el equilibrio de los huevos. Pero las viejas supersticiones nunca mueren, particularmente si son perpetuadas año tras año por chiflados a los que les gusta entonar cánticos y danzar en los pantanos en el día del equinoccio vernal. Puede mantener un huevo de pie cuando le plazca.



Haga la prueba

Mire un huevo de cerca. No es liso como el cristal, ¿verdad? Tiene pequeños bultos en su superficie. Revise una docena y seguro que encontrará varios que son bastante rugosos por el extremo más ancho. Ahora busque un mantel de algún material que sea relativamente liso, pero no tan liso como el cristal. Con una mano firme y un poco de paciencia, será capaz de cumplir esta proeza milagrosa y astronómica (o mejor dicho, astrológica), sin ninguna contribución de la Madre Tierra, excepto por proporcionar la gravedad que hace que la tarea sea todo un reto. Si la superficie de equilibrio es lo bastante rugosa, como una acera de cemento, un mantel con texturas o una alfombra, por ejemplo, entonces está chupado.

Un viejo truco de después de cenar —en cualquier día del año— consistía en ocultar un anillo de bodas bajo el mantel y, con fingida dificultad, «equilibrar» el huevo sobre él. Eso es todo con respecto al viejo juego del huevo.

Pero en cualquier caso, ¿qué es un equinoccio? Imagínese la Tierra girando alrededor del Sol a razón de una vuelta por año. El círculo trazado por la órbita de la Tierra alrededor del Sol está situado en un plano, igual que un círculo dibujado en un papel está situado en el plano del papel; se le llama plano de la eclíptica.



La Madre Tierra lleva otro círculo alrededor de su cintura; se le llama el ecuador y también está situado en un plano, llamado plano ecuatorial. Podemos imaginar el plano ecuatorial extendiéndose más allá de la Tierra, hacia el Sol. Pero curiosamente no llega a tocarlo. Normalmente no encontrará al Sol en el plano ecuatorial. Y esto es porque la Tierra está inclinada, de modo que el plano ecuatorial pasa por encima o debajo de la posición del Sol. (El plano ecuatorial está inclinado respecto al plano de la eclíptica en 23 grados y medio.)

Conforme la Tierra inclinada se mueve alrededor del Sol, habrá dos momentos en el año en los que el corte entre los dos planos pase por el Sol —es decir, dos ocasiones en las que el Sol, en su plano de la eclíptica, también está en el plano ecuatorial, lo que significa que está directamente sobre el ecuador—. Durante una mitad del año, el Sol está al norte del ecuador y el hemisferio norte tiene primavera y verano; durante la otra mitad del año, el Sol está al sur del ecuador y el hemisferio sur tiene primavera y verano. Los dos instantes de «cruce» generalmente ocurren el 21 de

marzo y el 23 de septiembre.

Esos dos instantes son la forma con la que definimos los comienzos de la primavera y el otoño en el hemisferio norte; son los equinoccios llamados vernal (primavera) y otoñal. La palabra equinoccio viene del latín y significa «igual noche», porque en esos instantes los períodos de luz diurna (los días) y oscuridad (las noches) tienen la misma duración en todo el mundo. Eso puede verse a partir del hecho de que el Sol está directamente por encima del ecuador, sin dar preferencia a más luz en el hemisferio norte o en el sur. Sin saber todo esto, los pueblos primitivos creían que los días de igual duración de luz y oscuridad tenían un significado especial, conduciendo, como de hecho lo hacen, a estaciones de calidez y crecimiento o de frío y desolación.

Y así emergió todo tipo de supersticiones alrededor de esas fechas. Puede ver, de todas formas, que no hay ningún «alineamiento de los planetas» ni ningún otro posible efecto gravitatorio de los equinoccios que haga que los huevos se comporten de manera extraña. Lo único extraño son esos locos que todavía dicen que esas fechas tienen poderes mágicos.

Oh, sí, y también está el tema de los solsticios. Ocurren a medio camino entre los equinoccios. Los solsticios de verano e invierno son los instantes en los que el Sol se sitúa lo más al norte o al sur del ecuador en todo el año. Para los que viven en el hemisferio norte, el solsticio de verano cae el 21 o 22 de junio y son los días de más horas de Sol; se le puede llamar el día de «máximo verano» o «pleno verano». No tiene más poderes místicos sobre los huevos que los equinoccios, aunque en Escandinavia, donde los inviernos son largos y oscuros y el día del equinoccio de verano es una excusa perfecta para una gran juerga, parece que tiene un efecto misterioso sobre el consumo de alcohol.

Oh, Sole mió

Quando se agote todo el carbón y el petróleo del mundo, ¿podremos obtener toda nuestra energía del Sol, que es inagotable?

Probablemente no, si se refiere a hacer electricidad a partir de paneles solares. Es cierto que hay mucha luz solar, pero el problema está en capturarla y convertirla eficientemente. Hagamos los cálculos.

Cada día, el Sol brilla sobre la superficie de la Tierra con una energía igual a tres veces el consumo anual de energía. Esto significa que para mantener nuestro consumo actual tendríamos que capturar y convertir toda la luz solar que cae sobre una décima de porcentaje de la superficie de la Tierra. Esto puede que no parezca mucho, pero son unos 470.000 kilómetros cuadrados de paneles solares, algo menos

de la superficie de España. Multiplique esa superficie por dos para tener en cuenta el hecho inevitable de que siempre es de noche en la mitad del mundo. Y oh, sí, hay nubes. Pero si piensa sobre ello, todas nuestras fuentes de energía de hoy vienen del Sol, con una única excepción: la energía nuclear, que descubrimos cómo obtener hace unos sesenta años. La energía nuclear, en la forma de fusión nuclear, es de donde el Sol obtiene su energía en primer lugar. De modo que hablando cósmicamente, sólo hay una fuente de energía en el Universo, y es la de fusión nuclear. Incluso el calor interno de la Tierra, la fuente de los volcanes y manantiales calientes, está alimentado por la energía nuclear de minerales radiactivos (aunque no es de fusión). Pero hasta que aprendamos cómo hacer nuestra propia energía nuclear de fusión aquí en la Tierra, tenemos que procurarnos nuestra cuota de energía nuclear cósmica a través de un intermediario: el viejo Sol. El Sol convierte su propia energía nuclear en calor y luz para nosotros, y todas nuestras fuentes de energía actual vienen de ese calor y esa luz. Son, por lo tanto, energía solar en un sentido real.

Echemos un vistazo a nuestras fuentes de «energía solar» una por una.

Combustibles fósiles: carbón, gas natural y petróleo son los restos de animales y plantas que vivieron hace millones de años. Pero ¿qué creó esos animales y plantas? El Sol. Las plantas usaron la energía de la luz solar para crecer mediante fotosíntesis, y los animales se comieron esas plantas (y también los unos a los otros). Toda la vida en la Tierra debe su existencia al Sol y, por lo tanto, también se lo debe la energía que hoy en día obtenemos de los combustibles fósiles.

Energía hidráulica: las plantas hidroeléctricas roban la energía gravitatoria del agua que cae al hacerla pasar por turbinas, que no son más que una versión moderna de un molino de agua. En lugar de tener un molino de agua en la cocina para moler el café, los generadores alimentados por las turbinas convierten la energía gravitatoria del agua en energía eléctrica, que a continuación es canalizada a los enchufes de su pared a través de cables de cobre. El agua cae por las cataratas del Niágara o por la presa Hoover porque, en deferencia a sir Isaac Newton (el tipo al que le cayó la manzana en la cabeza), está intentando acercarse al centro de la Tierra.

Entonces, ¿no es la energía hidráulica en realidad resultado de la energía gravitatoria? ¿No es provocada por la Tierra, más que por el Sol? Sí, pero espere un momento. ¿Cómo llegó tan alto el agua en primer lugar para poder caer luego bajo la influencia de la gravedad? De nuevo es el Sol. El Sol brilla sobre los océanos, evaporando agua en el aire. El agua es movida por el viento, forma nubes y finalmente cae en forma de lluvia o nieve. Así que sin la energía solar

no podría levantarse el agua para luego caer sobre las turbinas. No tendríamos cascadas o ríos, porque al no ser rellenados desde arriba por lluvia y nieve elevada por el Sol, acabarían por secarse.

Energía eólica: los molinos de viento capturan la energía del aire en movimiento. Pero ¿qué mueve el aire? Lo ha a inado: el Sol. Los rayos solares brillan sobre la superficie de la Tierra, un poco más fuerte aquí y un poco más suave allá, dependiendo de las estaciones, las latitudes, la cobertura de las nubes y otros factores. Pero la Tierra se calienta por el Sol más que los océanos, y esto crea masas de aire con una distribución irregular del calor a lo largo y ancho del globo terráqueo. Cuando las masas de aire caliente se elevan, las masas de aire frío corren a nivel del suelo a reemplazarlas. Esto hace que el aire se mueva, produciendo desde brisas apacibles hasta monzones. Puesto que todos estos vientos son, al fin y al cabo, el resultado del calor solar, la energía eólica está provocada realmente por el Sol.



El rincón del quisquilloso

De acuerdo, no todos nuestros vientos son causados por el Sol. Algunos de ellos son causados por la Tierra, sin ninguna ayuda exterior.

La Tierra está girando, y mientras gira transporta consigo una fina capa de gas: la atmósfera. Los gases y líquidos son lo que llamamos fluidos, sustancias que fluyen con facilidad, a diferencia de los sólidos, (La mayoría de la gente usa la palabra fluido para indicar sólo los líquidos, pero los gases también fluyen, y, por lo tanto, son fluidos.) Todo fluido tendrá dificultades para quedarse en un sitio si el sólido sobre el cual está situado se está moviendo. En un avión, por ejemplo, el café en su taza se derrama cuando el avión tropieza con un bache de aire, justo después de que la azafata lo haya servido. Del mismo modo, el movimiento giratorio de la Tierra hace que el aire se desplace en un cierto grado, como el café en la taza. ¿Y qué es el aire que se desplaza? Viento. Así que algunos de nuestros vientos son provocados por la Tierra, y no por el Sol. Hay una forma bastante interesante en la que la rotación de la Tierra afecta los movimientos de aire. Recibe el nombre de efecto de Coriolis.

Cómo datar una momia

¿Puede la datación de radiocarbono decirnos la edad de cualquier cosa?

No lo ayudará a determinar la edad de algo que todavía esté vivo, como por

ejemplo saber si alguien que dice tener veinticinco años en un chat de internet tiene en realidad doce años. La datación de radiocarbono es útil para determinar la edad de materia animal o vegetal que murió hace entre 500 y 50.000 años.

Desde que fue inventada por el profesor de química de la Universidad de Chicago Willard E Libby (1908-1980) en la década de 1950 (recibió el premio Nobel por ello en 1960), la técnica de datación por radiocarbono ha sido una herramienta extremadamente potente en arqueología, oceanografía y otras ramas de la ciencia. Para que la datación de radiocarbono pueda determinar la edad de un objeto, éste debe contener algún carbono orgánico, es decir, carbono que haya sido parte de un animal o planta.

El método nos dice cuánto tiempo hace que vivió dicho animal o planta, o para ser más precisos (como veremos) cuánto tiempo hace que murió. Las pruebas de radiocarbono pueden realizarse sobre materiales como madera, hueso, carbón vegetal de un antiguo fuego o incluso el lino usado para envolver a una momia, porque el lino está hecho de fibras de una planta.

El carbono es un elemento químico que todo ser vivo contiene en su surtido de productos bioquímicos: en sus proteínas, carbohidratos, lípidos, hormonas, enzimas, etc. De hecho, la química basada en el carbono recibe el nombre de «química orgánica» porque en su día se pensaba que el único lugar en el que dichos compuestos existían era en organismos vivos. Hoy sabemos que podemos hacer todo tipo de productos «orgánicos» basados en el carbono a partir del petróleo sin tener que obtenerlos de animales o plantas. Pero el carbono en los seres vivos se diferencia en una cuestión importante del carbono en la materia inerte como el carbón, el petróleo y los minerales.

El carbono «vivo» contiene una pequeña cantidad de cierto tipo de átomo de carbono conocido como carbono 14, mientras que el carbono «muerto» sólo contiene átomos de carbono 12 y 13. A los tres tipos distintos de átomos de carbono se les llama isótopos de carbono; todos se comportan igual químicamente pero tienen pesos ligeramente distintos, o, hablando con propiedad, diferentes masas. Lo que es único en los átomos del carbono 14, aparte de su masa, es que son radiactivos. Es decir, son inestables y tienden a desintegrarse (romperse) a base de lanzar partículas subatómicas, llamadas partículas beta. Todos los seres vivos son, por lo tanto, ligeramente radiactivos, debido a su contenido de carbono 14. Sí: incluidos usted y yo; todos somos radiactivos. Una persona de, por ejemplo, 68 kilos contiene mil billones de átomos de carbono 14 que disparan 200.000 partículas beta cada minuto.



Apuesta de bar

Usted es radiactivo.

Si el carbono inerte del mundo no es radiactivo, ¿de dónde obtienen el carbono 14

los organismos vivos? ¿Y qué ocurre cuando éstos mueren? Es en las respuestas a esas preguntas donde la historia del radiocarbono se vuelve realmente interesante. El profesor Libby que trabaja justo al otro lado del pasillo de mi laboratorio de la Universidad de Chicago, fue capaz de reconocer las relaciones entre una serie de fenómenos naturales inconexos que, al ser relacionados, nos dieron un método ingenioso para mirar a nuestro pasado y a la historia de todo nuestro planeta. Sigamos la secuencia de acontecimientos:

1) El carbono 14 está siendo continuamente generado en la atmósfera por los rayos cósmicos, esas partículas subatómicas de alta energía que se mueven por nuestro sistema solar en todas direcciones prácticamente a la velocidad de la luz. (Algunas de ellas vienen del Sol, pero el resto viene del espacio exterior.) Cuando esas partículas cósmicas golpean la atmósfera terrestre, algunas de ellas chocan con átomos de nitrógeno, convirtiéndolos en átomos de carbono 14. Los átomos de carbono 14 se combinan con el oxígeno para formar dióxido de carbono, que se mezcla minuciosamente en la atmósfera a causa de los vientos. Así que toda la atmósfera tiene una determinada cantidad de carbono 14 en ella, en la forma química de dióxido de carbono. Este proceso ha seguido su curso durante eones, y la cantidad de carbono 14 en la atmósfera se ha establecido en una cantidad fija.

2) El dióxido de carbono radiactivo es captado por las plantas en la superficie de la Tierra y usado para manufacturar sus propios productos químicos. (Ya sabe, por supuesto, que las plantas toman dióxido de carbono para usarlo en la fotosíntesis.) Todas las plantas de la Tierra contienen, por lo tanto, carbono 14. Todas terminan con un átomo de carbono 14 por cada 750.000 millones de átomos de carbono que contienen.

3) Mientras una planta está viva, continúa el proceso de obtener dióxido de carbono de la atmósfera, manteniendo, por lo tanto, la relación de 1 a 750.000 millones de átomos de carbono 14 que contienen

4) En cuanto la planta muere, deja de respirar dióxido de carbono y su acumulación de átomos de carbono 14, al no ser ya repuestos por los de la atmósfera, empieza a disminuir por desintegración radiactiva. Con el paso del tiempo, por lo tanto, hay menos y menos átomos de carbono 14 restantes en el material de la planta muerta.

5) Conocemos la tasa exacta con la que un número determinado de átomos de carbono 14 disminuirá por desintegración radiactiva (visite «El rincón del quisquilloso»).

De modo que si contamos cuántos quedan en algún material vegetal antiguo, podemos calcular cuánto tiempo ha pasado desde que tuvo su último complemento de 1 en 750.000 millones de átomos de carbono 14, y, por lo tanto, podemos saber cuánto tiempo hace que murió la planta. En el caso de una pieza de madera, por ejemplo, sabremos cuándo fue cortado el árbol; en el caso de una momia, podemos analizar su envoltorio de lino y calcular cuándo fue recogida la planta de lino para fabricar la tela, y así sucesivamente.

No está mal, ¿verdad?

Pero ¿qué pasa con las reliquias animales como los huesos o el cuero? ¿Cómo podemos saber cuándo vivió y murió un animal? Bien, los animales comen plantas. O bien comen animales que han comido plantas. O en el caso de los animales humanos, ambas cosas. Así que los átomos de carbono que comen los animales, a partir de los cuales fabrican sus propios compuestos químicos, tienen la misma proporción de átomos de carbono 14 que las plantas: uno en cada 750.000 millones. Cuando muere el animal, deja de comer y de intercambiar átomos de carbono con su entorno, y su dotación de carbono 14 empieza a disminuir de la forma que conocemos con precisión. Midiendo cuánto carbono 14 queda hoy en día, podemos calcular cuánto tiempo ha pasado desde que la reliquia formó parte de un animal vivo. Ha habido varias aplicaciones espectaculares de la datación de radiocarbono en las últimas décadas.

Una de ellas fue la datación de los pergaminos del mar Muerto, una colección de unos 800 manuscritos que fueron, escondidos en una serie de cuevas en la costa del mar Rojo, a dieciséis kilómetros al este de Jerusalén, por judíos esenios en el año 68 a. C. Fueron descubiertos por árabes beduinos entre 1947 y 1956. Los rollos de pergamino envueltos en lino contienen porciones auténticas de manuscritos del Antiguo Testamento que según la datación de radiocarbono fueron escritos alrededor del año 100 a. C. Otro logro de la datación de radiocarbono fue el hallazgo según el cual el Sudario de Turín, que algunos creían que era el paño del enterramiento de Jesús, es una falsificación medieval urdida entre 1260 y 1390, lo cual es muy después de Cristo. Este resultado científico incontrovertible, obtenido independientemente en 1988 por tres laboratorios (en Zurich, Oxford y Arizona), continúa siendo rechazado por aquellos que prefieren creer lo que prefieren creer.



El rincón del quisquilloso

¿Cómo sabemos con precisión a qué velocidad disminuye la cantidad de carbono 14?

Todo átomo radiactivo o inestable tiene una determinada probabilidad de desintegrarse en un determinado período de Tiempo, Algunos tipos de átomos

radiactivos son más inestables que otros y tienen probabilidades más altas de desintegrarse. No podemos saber cuándo se desintegrará un átomo concreto, pero promediando los billones de átomos que contiene incluso una diminuta mota de materia radiactiva, las estadísticas son totalmente predecibles. Es como lanzar monedas al aire: no se tiene ni idea sobre si una determinada moneda caerá sobre su cara o su cruz, pero se sabe con seguridad que si se lanza una moneda al aire un millón de veces, habrá, muy aproximadamente, medio millón de caras y medio millón de cruces. En el caso de átomos radiactivos, las estadísticas nos dicen que la mitad de los átomos se desintegrará en un tiempo determinado llamado vida media. Y eso es cierto independientemente de cuántos de esos átomos radiactivos se tengan al principio. La vida media del carbono 14 ha sido medida en 5.730 años. Comience con un billón de átomos de carbono 14, y 5.730 años después habrá medio billón de ellos. Tras otros 5.730 años, sólo quedará un cuarto de billón, y así sucesivamente. De modo que si contamos el número de átomos de carbono 14 en una muestra de madera antigua y vemos que contiene exactamente la mitad de los que contiene una pieza similar de madera viva, entonces sabremos que fue cortada del árbol hace 5.730 años. Y lo mismo se aplica a cualquier cantidad de carbono 14 y cualquier cantidad de tiempo, aunque los cálculos matemáticos no son tan sencillos.

El nombre de la fuerza gravitatoria es gravitación y no gravedad; gravedad simplemente significa «peso». Pero todos los que no pertenecen al Club de los Físicos llaman a esa fuerza gravedad, y en este libro cuando a mí me parece adecuado, yo también lo hago

Capítulo 5. ¡Oh, cielos!

Una diferencia entre los humanos y los animales es que los animales nunca miran al cielo. Toda su comida está disponible en una fina capa sobre o cerca del suelo, lo que los biólogos llaman la biosfera. Y todo lo que necesitan es comida.

Pero nuestra necesidad humana por la alimentación es espiritual e intelectual, además de física. Desde el primer momento en el que empezamos a preguntarnos «cómo» o «por qué», siempre hemos mirado a los cielos en busca de respuestas a nuestras preguntas.

Los cielos —el gran ahí arriba— siempre han ejercido una atracción mística sobre nosotros. Los cielos son la sublimación conceptual de todo lo que se encuentra más allá de nuestra comprensión. Los primeros hombres miraron ahí arriba y se preguntaron qué eran las estrellas. Entonces nos inventamos dioses, ¿y dónde sino ahí arriba debíamos establecer sus ministerios? El cielo, el último desconocido después de la muerte, no podía estar situado en otro lugar.

Más adelante en la historia de la humanidad, en un intento de construir un puente más tangible hacia los cielos, los astrólogos urdieron una intrincada trama de supuestas asociaciones entre los movimientos de las estrellas y los planetas ahí arriba y todos nuestros movimientos y emociones aquí abajo. Increíblemente, en el siglo XXI todavía hay quien cree que un planeta a un billón de kilómetros de distancia puede meter un billete de lotería ganador en su bolsillo.

Hoy en día, habiendo explorado todo lo que hay desde el suelo hasta más allá de los confines de la Tierra, observamos que queda mucho menos misterio en el ahí arriba. No sólo podemos volar hasta lo más alto del cielo, sino más allá hacia otros planetas. Ahora tenemos que fijar nuestra atención en el dominio más distante de lo desconocido, el ahí fuera del espacio, todo un universo de inimaginables secretos que nos seguirán evadiendo, quizá para siempre. Seguimos mirando hacia arriba y haciéndonos preguntas.

En este capítulo, primero exploraremos el nivel más bajo del cielo, la atmósfera, que no sólo sostiene toda la vida con su oxígeno (para los animales) y dióxido de carbono (para las plantas), sino que transporta toda la luz a nuestros ojos, sonidos a nuestros oídos y aromas a nuestras narices. Veremos la Luna tornarse azul, oiremos un estallido sonoro emanando de la jaula de un león y oleremos algo absolutamente desagradable. Entonces apagaremos las luces y miraremos al cielo nocturno, que nunca ha cesado de encantar a la humanidad. ¿Sabe por qué las estrellas parpadean y la Luna no?

Y finalmente, dejaremos la Tierra y nos aventuraremos en el espacio exterior, donde hace mucho, mucho frío.

¿O no?

¡Puaj!

Cuando huelo algo muy desagradable, ¿están entrando pedazos de esa cosa en mi nariz?

Lo siento, pero sí. No son fragmentos completos, sino moléculas individuales: moléculas que se han evaporado de la cosa maloliente y han flotado por el aire hasta su nariz.

Pero no se maree al pensarlo: sólo es necesario un número increíblemente pequeño de moléculas para que los humanos lo detectemos como un olor. Y las moléculas ni siquiera son moléculas de «toda la cosa maloliente».

Prácticamente, todo tipo de sustancia que pueda imaginarse (y otras que quizá no se moleste en imaginar) son mezclas complejas de muchas sustancias químicas distintas. Cada una de esas sustancias químicas tiene una cierta tendencia a enviar parte de sus moléculas hacia el aire en forma de vapor. Las moléculas que entran por su nariz no son una representación completa de la cosa maloliente, sino sólo moléculas de sus componentes químicos más volátiles. Cuando usted dice «huele a X», es porque ha aprendido a asociar el olor de esos pocos compuestos químicos volátiles con toda la sustancia compleja X. Individualmente, uno cualquiera de esos compuestos químicos en su forma pura, separada de su contexto desagradable, puede ser bastante inocente, aunque apestoso.

Sin embargo, varios compuestos químicos de olor desagradable han sido bautizados a partir de la sustancia en la que se encuentran, y de cuyo olor son responsables. El ácido caproico es llamado así porque huele a cabra (caper significa «cabra» en latín). La cadaverina, es un compuesto químico que se encuentra en la carne en putrefacción. Y el skatole huele a..., bueno, skatos significa «excremento» en griego. El hecho más sorprendente de la semana: el skatole se utiliza en los perfumes. Sí, es un fijador que evita que los perfumes se evaporen demasiado rápido, pero no impide que sean descritos en términos apasionados y románticos por los creativos publicitarios.

Si supieran.

Las aspiradoras aspiran

¿Qué ocurriría si utilizase una aspiradora en el vacío?

Obtendría un vacío muy limpio.

Pero en serio, no sé por qué querría imaginarse algo por el estilo, porque no hay

nada más vacío que el vacío; es el epítome de la nada. Asumiré, de todas formas, que hace la pregunta por curiosidad científica, más que porque es graciosa.

¿Qué es un vacío? La gente usa la palabra de forma muy holgada para describir un espacio que contiene menos aire de lo normal. A nivel del mar, un centímetro cúbico de aire contiene unos veintisiete millones de billones de moléculas. Extraiga unas cuantas de esas moléculas de cualquier forma que disponga —una pajita, una aspiradora o una bomba de vacío— y le será permitido llamar vacío a ese espacio. Pero sólo es un vacío parcial; todavía hay mucho aire en su interior. Una aspiradora no puede bombear ni la mitad del aire en un contenedor.

Un vacío perfecto, un vacío real, por otra parte, es un espacio que no contiene absolutamente nada, ni siquiera una sola molécula. Pero un vacío perfecto es sólo un concepto abstracto, como un político perfectamente digno de confianza. Simplemente no existe en el mundo real.

¿Por qué? Porque incluso si pudiera inventar una bomba de vacío con un 100% de eficiencia, que pudiera absorber hasta la última molécula de aire de un contenedor — y no puede, por una razón que muy pronto verá—, el propio contenedor estaría desprendiendo moléculas de sí mismo al espacio bombeado. Esto es así porque absolutamente toda sustancia en el mundo tiene una presión de vapor: una cierta tendencia de sus moléculas a desprenderse al espacio en forma de vapor. Esto es cierto por muy sólida y dura que parezca ser la sustancia. Un científico diría (y yo diré) que hay un equilibrio entre la sustancia en su forma sólida y la misma sustancia en la forma de vapor o gaseosa. Toda molécula de la superficie de un sólido tiene la opción de quedarse sujeta al sólido o de salir volando al espacio como una molécula de gas.

Todo lo que estoy diciendo sobre los sólidos es lo que ya sabe que es cierto en los líquidos: que las moléculas de un líquido pueden salir volando al espacio en forma de vapor. El agua, por ejemplo, se evapora (se convierte en vapor) a una buena velocidad; su presión de vapor es bastante alta. Los aceites, por otra parte, no se evaporan mucho; sus tendencias a producir vapor, o presiones de vapor, son bajas. Mucho, mucho más bajas que cualquier líquido son las tendencias a evaporarse de los sólidos. Nunca ha visto un pedazo de hierro «secarse» y desaparecer en el aire, ¿verdad? Pero eso no significa que, de vez en cuando, un átomo de hierro no se desenganche de sus compañeros sólidos y navegue por la inmensidad.

Para poner las cosas en perspectiva: la tendencia del agua líquida a evaporarse es 500.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 veces más alta que la del hierro sólido. Pero eso no significa que usted pueda construir una cámara de vacío perfecta hecha de hierro. Siempre habrá unos pocos átomos de hierro que floten. Es más, ¿qué usaría para sellar la cámara herméticamente? ¿Juntas de goma? La goma tiene una importante presión de vapor y

habrá grandes cantidades de moléculas de goma en su espacio «vacío».

Y así sucesivamente. Incluso sí pudiera construir una cámara de vacío totalmente de tungsteno, que tiene la presión de vapor más baja de toda sustancia conocida — como de uno o dos átomos flotando por todo el Universo—, tampoco podría bombearlos por completo porque la propia bomba de vacío está hecha de cosas como juntas, aceite y grasa, etc., todo con sus propias presiones de vapor.

Todo esto no ha impedido que los científicos intenten producir el mejor vacío posible. Lo mejor que han sido capaces de conseguir hasta ahora es un espacio que contiene sólo unos pocos millones de moléculas por centímetro cúbico, en comparación con veintisiete millones de billones de moléculas del aire ordinario. Eso es más vacío que una cartera justo antes del día de la paga, pero su pregunta implicaba que quería estar en una habitación completamente evacuada (si pudiera sobrevivir ahí) con una aspiradora en su mano, y quería saber qué es lo que la aspiradora aspiraría. Nada. El ventilador simplemente daría vueltas sin aspirar o soplar nada, porque no hay nada que aspirar o soplar.

Pero ya sabía esto, ¿verdad, pillín?

El estallido de un latigazo

Cuando un domador de leones hace chasquear su látigo, hace un «crac» muy ruidoso, pero no está golpeando al león y parece como si el látigo ni siquiera tocara el suelo. ¿Qué es lo que genera ese ruido tan fuerte?

El chasquido de un látigo es en realidad un estallido sonoro en miniatura, producido porque el extremo del látigo está viajando por el aire más rápido que la velocidad del sonido.

Cuando el domador chasquea su látigo, está pasando una gran cantidad de energía al extremo del mango. Esa energía no tiene adonde ir excepto a lo largo del látigo como una onda de movimiento. En jerga técnica, la energía de movimiento se llama energía cinética, y es una función del peso y la velocidad (en realidad, la masa y velocidad, pero no andemos con sutilezas). Una determinada cantidad de energía cinética puede venir de un objeto pesado moviéndose relativamente despacio o de un objeto ligero moviéndose relativamente rápido. Por ejemplo, para igualar la energía cinética de un camión de diez toneladas moviéndose a 80 kilómetros por hora, un automóvil de una tonelada tendría que moverse a 254 kilómetros por hora.

(Los que tengan facilidad con las matemáticas reconocerán de inmediato que esas

velocidades no son inversamente proporcionales a los pesos. Esto es así porque la energía cinética es proporcional al cuadrado de la velocidad.)

Conforme la energía se mueve a lo largo del látigo, tiene cada vez menos masa con la que trabajar, porque el látigo es más estrecho por la punta. La energía debe permanecer en el látigo porque no tiene ningún otro lugar al que ir, así que mientras el grosor y peso descienden, la velocidad ha de aumentar.

¿Ha jugado alguna vez a «chasquear el látigo» sobre patines de hielo? Una larga cola de patinadores avanza al unísono, y cuando el que va delante toma una curva, una onda de energía de giro acelera por la cola hasta que el tipo del final es lanzado con tal velocidad que apenas se puede sujetar. En un látigo largo lanzado con fuerza, la velocidad en la punta puede exceder fácilmente la velocidad del sonido y crear un pequeño estallido sonoro.

¿Qué le ocurre a la energía cuando alcanza el extremo de un látigo? Si examina un látigo usado, verá que muchas de las hebras del final están mordidas; la punta está deshilachada. Pero una gran parte de la energía ha ido directamente al aire en forma de sonido, mientras que parte de ella es reflejada hacia atrás a lo largo del látigo. El rebote del reflejo en la punta es increíblemente rápido, y esa onda también contribuye al ruido.

Ahora, todo lo que necesitamos comprender es por qué los domadores de leones decidieron usar sillas. Podrían encontrar algo más sofisticado y profesional en una tienda para domadores.



No lo ha preguntado, pero...

¿Qué causa un estallido sonoro?

Se ha escrito un montón de disparates sobre los estallidos sonoros. La quinta edición de la Columbia Encyclopedia (1993) dice: «Un objeto como un avión genera sonido. Cuando la velocidad del objeto alcanza o excede la velocidad del sonido, el objeto atrapa su propio ruido» (ojalá que algunos políticos pudiesen hacer eso), lo que causa «sonido apilado». ¡Ridículo! ¿Puede alguien decirme qué se supone que es una pila de sonido?

Por otra parte, mucha gente piensa que hay una cosa tangible llamada barrera del sonido, y que cuando un avión pasa a través de ella, hace el sonido de una colisión, como si se estrellara contra una pared invisible de cristal. Eso también es incorrecto. Supongo que la gente ha llegado a imaginarlo de esa manera a causa de la palabra barrera. Nunca se intentó insinuar que hubiera una obstrucción física en el aire, sino sólo que la velocidad del sonido planteaba una obstrucción para el desarrollo de aviones más y más rápidos. Era una barrera de diseño aeronáutico, no física. En cualquier caso, cuando un avión «cruza» la barrera del sonido hay ciertamente mucha

tensión física en el avión a causa de la onda de choque, como veremos.

La verdadera barrera para el vuelo supersónico la impone la velocidad del sonido. (Y por cierto, supersónico significa «más rápido que la velocidad del sonido»; ultrasónico hace referencia a un sonido de una frecuencia más alta de lo que puede percibir el oído humano.) Hay cosas únicas que ciertamente ocurren cuando un objeto se aproxima a la velocidad del sonido en el aire. Esto es lo que ocurre.

El aire, por supuesto, está formado por moléculas: moléculas de nitrógeno y oxígeno, principalmente. En todos los gases, las moléculas están vibrando frenéticamente en todas direcciones como un enjambre de abejas alocadas. A temperatura ambiente, por ejemplo, las moléculas de oxígeno en el aire están zarandeándose a una velocidad media de 1.720 kilómetros por hora. Cuanto más caliente está el gas, más rápido vuelan estas abejas.

.Un avión que vuela unos pocos cientos de kilómetros por hora da tiempo de sobra a las vivaces moléculas para apartarse y dejarlo pasar; es como una persona abriéndose camino lentamente a través de una multitud. Pero cuando la velocidad del avión es comparable a la propia velocidad de las moléculas, no tienen tiempo de apartarse; simplemente se amontonan en los extremos frontales del avión y son empujadas hacia delante como si fueran nieve ante una pala quitanieves. Esta rápida acumulación de aire comprimido constituye un «choque de aire» u onda de choque, lo cual es, en efecto, un fuerte ruido. Las ondas sonoras radian en todas direcciones y pueden ser oídas como un estallido desde el suelo. El avión arrastra su «círculo de estallido» consigo, de forma que la gente que está en el suelo a lo largo del recorrido del avión lo oirá cuando pase por encima de ellos. Esto echa por la borda la equivocación popular de que hay un único estallido en el momento en el que el avión cruza la barrera del sonido. Es un estallido en movimiento.

¿Qué tiene que ver todo esto con la velocidad del sonido? Bien, el sonido no es nada más que una serie de compresiones y expansiones en el aire. Si las moléculas de aire están vibrando a una velocidad determinada, habrá un límite a lo rápido que puede ser comprimido y expandido el aire, porque las moléculas no pueden ser comprimidas y expandidas más rápido de lo que pueden avanzar y retirarse las unas de las otras. De este modo, la velocidad de las moléculas de aire impone un límite en lo rápido que permitirán que el sonido pase por ellas: un límite en la velocidad del sonido a través de ese aire concreto.

El sonido avanzará más rápido por el aire caliente que por el aire frío, porque las moléculas más calientes se mueven más rápido y pueden chocar entre ellas de forma más efectiva. Por ejemplo, la velocidad del sonido al nivel del mar es de 1.524 kilómetros por hora a 27 grados Celsius, pero sólo de 1.200 kilómetros por hora a 0 grados Celsius. El sonido también avanza más rápido en aire denso de alta presión porque las moléculas están más juntas y pueden transmitir mejor las compresiones.

Resumiendo entonces, la velocidad del sonido es mayor con temperaturas altas y al nivel del mar, y más lenta en aire frío y escaso. Por eso, los aviones supersónicos operan mejor en las frías altitudes, donde no tienen que ir tan rápido para sobrepasar la velocidad del sonido. A nueve kilómetros sobre el nivel del mar, el aire es lo bastante frío y escaso como para que la velocidad del sonido sea de sólo 1,100 kilómetros por hora.

Rayos y centellas

¿Por qué los truenos suenan a veces como un crujido agudo y otras como un rugido profundo?

Depende de lo lejos que esté del rayo. Cuanto más cerca esté, más agudo será el tono que oirá; cuanto más lejos, más grave. Pero en primer lugar, tenemos que recordar qué es un trueno.

El golpe de un rayo es extremadamente rápido; se podría decir que ocurre a la velocidad del rayo. Su calor repentino hace que el aire que lo rodea brille, al ser calentado a decenas de miles de grados. El aire se expande a velocidades tremendas, después de lo cual se enfría rápidamente y se contrae a su temperatura y presión normales. El aire moviéndose tan repentinamente crea enormes vibraciones, y esto es lo que las ondas sonoras son: estremecimientos, u ondas de presión, moviéndose por el aire. De ahí el ruido del trueno. No le sorprenderá saber que el trueno viaja a la velocidad del sonido. Pero la luz viaja casi un millón de veces más rápido que el sonido. Obviamente, entonces, verá el destello del rayo casi instantáneamente, pero no oirá el trueno hasta que éste viaje desde el lugar donde ha caído el rayo hasta sus oídos.



Haga la prueba

La próxima vez que tenga el privilegio de presenciar una tormenta eléctrica, cuente el número de segundos entre el destello del rayo y el principio de su trueno asociado. pida ese número de segundos entre dos y medio para tener una aproximación de los kilómetros a los que se encuentra el rayo (pero vea «El rincón del quisquilloso»). Puede que se sorprenda al saber lo cerca que caen muchos de los rayos. Y mientras está en ello, note que cuanto más cerca está un rayo, más agudo será el crujido que oiga. Siga leyendo.

El sonido no siempre viaja a la misma velocidad. Depende del medio por el que se mueve. Las ondas de presión no pueden transmitirse de un lugar a otro a no ser que la sustancia de transmisión tenga moléculas que puedan chocar mutuamente de forma efectiva y pasarse la energía.

Suponga que tenemos dos trenes en la misma vía, chocando de frente. (¡NO INTENTE ESTO EN CASA!) La energía del impacto se transmitirá, vagón tras vagón, a lo largo de los trenes, desde sus locomotoras hasta sus furgones de cola (a no ser que descarrilen, por supuesto). Cada vagón transmite su golpe al siguiente en la línea al chocar con él; el siguiente la transmite al otro, y así sucesivamente, y la energía del choque se mueve a través de los vagones como una onda. Así es como las ondas de sonido se transmiten a través de los materiales, pero mediante choques entre moléculas en lugar de vagones de tren. Puede ver que si los vagones no estuvieran muy juntos, la onda del choque tardaría más tiempo en llegar a los furgones de cola, ya que se perdería tiempo porque cada vagón se ha de mover hasta el siguiente antes de que choque con éste. Del mismo modo, se necesita más tiempo para que una onda de sonido se transmita a través de una sustancia si sus moléculas no están muy juntas.

En el aire, como en todos los gases, las moléculas se hallan muy separadas, así que el sonido viaja relativamente despacio por el aire: a unos 1.400 kilómetros por hora al nivel del mar y temperatura ambiente. En el agua, las moléculas están mucho más juntas; el sonido viaja por el agua a 5.300 kilómetros por hora. En un sólido denso como el hierro viaja a 21.000 kilómetros por hora.

Ya tenemos bastante sobre lo rápido que viaja el sonido. Ahora veamos cómo cambia mientras viaja. Como puede imaginar, el sonido de un rayo que cae muy cerca es un agudo crujido: justo lo que se esperaría de un enorme chispazo. Pero cuando un trueno lejano llega a usted, puede ser un temblor de baja frecuencia. La conclusión que obtenemos de esto es que los sonidos de baja frecuencia viajan distancias más largas que los de alta frecuencia, que tienden a extinguirse con la distancia. ¿Ha notado alguna vez que cuando su vecino pelmazo hace sonar su equipo de música lo bastante alto como para pelar la pintura de las paredes, oye básicamente las notas graves? Las notas agudas simplemente no llegan tan lejos y también son mejor absorbidas por las paredes. La razón es que los sonidos de más alta frecuencia hacen vibrar el aire y las paredes más veces por segundo, de forma que gastan su energía

más rápido conforme avanzan. Por eso las bajas frecuencias del trueno llegan más lejos que los crujidos agudos, y cuanto más lejos está del fenómeno eléctrico, más grave será el tono del sonido. Esta es otra forma de comparar lo cerca o lejos que golpea un rayo. Cuanto más lejos golpea, más grave sonará el trueno y más tarde llegará el ruido a nuestros oídos. Debe haber notado que el trueno no suena solamente agudo o grave, sino que es una mezcla de sonidos de alta y baja frecuencia.

Esto es así porque el propio rayo tiene lugar a una mezcla de distancias de usted. El rayo puede tener varios kilómetros de largo, con enormes ramificaciones extendiéndose a partir del tronco principal, de modo que varias partes del rayo están a varias distancias de usted, y eso distribuye las frecuencias de los sonidos que oye. También habrá notado que el trueno retumba durante un largo período de tiempo. Hay dos causas: una, el sonido viaja varias distancias desde las distintas ramas del rayo, y dos, hace eco con el suelo según avanza.

Ahora ya puede volver a esconderse bajo la cama.



El rincón del quisquilloso

Las ondas sonoras no se transmiten por el aire simplemente haciendo chocar las moléculas entre sí en línea recta, como una cadena de vagones de tren en un accidente. La energía sonora convierte el «aire uniforme» en una serie de zonas que son alternativamente comprimidas y expandidas. Es decir, el sonido fuerza al aire a formar regiones alternadas de alta y baja densidad. Son esas alteraciones de densidad las que golpean su oído a la velocidad de cierto número de compresiones y expansiones por segundo. Cuantas más compresiones y expansiones golpean su oído por segundo, más alta es la frecuencia, o tono, del sonido que usted oye.

La velocidad del sonido en las ondas de aire varía bastante dependiendo de la temperatura y presión del aire. La regla que di anteriormente para calcular la distancia de un rayo es sólo una aproximación muy tosca, porque no podemos saber la temperatura y presión del aire en donde el rayo creó la mayor parte del ruido de su trueno, o las condiciones del aire entre ese punto y nosotros.

Escogí dos segundos y medio de retardo por cada kilómetro, pero verá otras cantidades en otros libros. No se sorprenda: como he mencionado anteriormente, los rayos son largos, y pueden crear truenos a lo largo de su recorrido por el aire, que tiene una variedad de temperaturas y presiones y que está a varias distancias de usted. Por eso puede tener problemas para cronometrar un trueno; ¿cronometra desde el destello hasta el principio del rugido, o hasta el final? Está lejos de ser una ciencia exacta, a no ser que sepamos mucho más sobre el rayo de lo que normalmente sabemos.

Luna llena

¿Por qué la Luna es mucho más grande cuando se levanta o pone en el horizonte, comparado con el tamaño que tiene cuando está en lo alto del cielo'?

Prácticamente, todo el mundo ha notado esta rareza en un momento u otro. Cuando la Luna está baja, cerca del horizonte, parece enorme comparada con su apariencia unas pocas horas después, cuando está más alta. El efecto es especialmente notable cuando es un hermoso gran disco: una Luna llena. Pero puede observar el efecto en cualquier fase.

La gente se ha estado maravillando sobre esta curiosidad durante al menos 2.000 años, desde mucho antes que ni siquiera supieran qué era la Luna o cómo se movía alrededor de la Tierra. (Pero usted lo sabe, ¿verdad? Si tiene alguna duda, vea la página 193.) ¿Puede creer que en nuestra llamada era del espacio podemos dar saltitos y jugar a la rayuela en la Luna, pero todavía no conocemos la respuesta al rompecabezas de su tamaño aparente? Como puede imaginarse, ha surgido gente con docenas de «explicaciones» a lo largo de los años. Pero excepto unas pocas de ellas, puede demostrarse que son erróneas. Una explicación definitiva de la Ilusión de la Luna —y eso es lo que es: una ilusión óptica— continúa siendo evadida por la ciencia. Si fuera un asunto de ciencia física, le aseguro que ahora ya sabríamos lo que ocurre, porque la física es una ciencia muy avanzada. Pero aparentemente es una cuestión de percepción humana, y la comprensión de nuestra propia psicología no está tan avanzada como nuestra comprensión del mundo que nos rodea.

Si hay una cosa de la que estamos seguros es de que, según gira alrededor de la Tierra, la Luna no cambia de tamaño como una mujer gorda que sigue una dieta de moda. El satélite original de la Tierra no es ni una pizca más grande cuando está saliendo o poniéndose cerca del horizonte que cuando está directamente encima de nosotros. Así que tiene que tratarse de algo relacionado con la forma con la que nuestros ojos y cerebros humanos perciben la Luna. Pero ¿qué? Antes de que echemos por tierra algunas de las teorías erróneas y apoyemos algunas de las más plausibles, demostrémonos a nosotros mismos que se trata ciertamente de una ilusión: de que cuando pensamos que estamos viendo lunas grandes y pequeñas, en realidad no es así.



Haga la prueba

Averigüe la fecha de la próxima Luna llena en el periódico; tiene que estar en la sección de meteorología. O llame al meteorólogo de su televisión local. En la noche

señalada, salga en cuanto esté oscuro y hunda sus colmillos en el blanco cuello de una hermosa jovencita... Oh, perdón, me equivoqué de libro.

En la noche señalada, salga en cuanto esté oscuro y busque la Luna mientras todavía está cerca del horizonte. Si es necesario, suba a la colina más cercana. Ahora coja la regla que me olvidé de decirle que se llevara, y mida el tamaño aparente de la Luna aguantando la regla con el brazo estirado. Se extenderá unos doce milímetros. Anote su «tamaño» al milímetro. Ahora espere unas cuantas horas hasta que la Luna esté en lo alto y mida de nuevo su tamaño aparente, ¿Qué le dije? Mide exactamente lo mismo, ¿verdad?

0...

Tome varias fotos de la Luna llena cuando está cerca del horizonte y más tarde, según se levanta por el cielo. Use un teleobjetivo para obtener una imagen grande en la película. Si tiene un teleobjetivo variable, asegúrese de que está sacando todas las fotos a exactamente la misma distancia focal. Use varias velocidades de obturador para obtener al menos una buena exposición en cada posición. ¡Verá que la Luna tiene exactamente el mismo tamaño en todas las fotos!

Así que las reglas y las cámaras no engañan, pero nosotros, los Homo sapiens, somos engañados. Humillante, ¿no?

Ahora vamos a echar por tierra algunas de las teorías que han sido presentadas. «Cuando la Luna está baja, la está comparando inconscientemente con los árboles, edificios y montañas, y parece grande en comparación con ellos. Pero cuando está sola, en lo alto del cielo, no hay nada para compararla, así que no parece que sea tan grande.»

Bien, es posible. Pero incluso en una pradera, donde no hay nada en todo el horizonte, sigue pareciendo más grande cuando está abajo. «Cuando la Luna está baja, la está viendo a través de mucho más aire que cuando está alta. Todo esa cantidad de aire puede actuar como una lente, refractando (doblando) los rayos de luz como una lupa.» Lo siento, pero tal efecto de refracción es pequeño y puede hacer que la Luna parezca ligeramente deformada, pero no aumentada.



«Cuando la Luna está baja la está mirando hacia delante, pero cuando está en lo alto su cabeza se inclina hacia arriba y sus ojos están ligeramente aplastados, y esto hace que..., bla, bla, bla.» Absurdo.

Entonces, ¿cuál es la respuesta? Los psicólogos que estudian la percepción humana tienen un par de teorías bastante convincentes. Teoría número uno: toda nuestra experiencia desde el día en que abrimos los ojos (algunos psicólogos piensan que es incluso innato), nos ha enseñado que cuando un objeto se acerca hacia

nosotros, se hace más grande. Piense en un avión que se aproxima, o incluso un balón que se mueve hacia usted en un campo. Pero el «balón lunar» parece que rompa todas las reglas; según se mueve hacia arriba, no se está acercando y no se está haciendo más grande. Así que su cerebro lo interpreta como que es inusualmente pequeño, y ésa es la conclusión que extrae. No es que la Luna del horizonte parezca más grande, es que la Luna encima de nosotros parece más pequeña. Estaría más inclinado a creer esa teoría si la Luna se elevase en cuestión de segundos. Cuando la miro en el cielo, no la estoy comparando con su aspecto de hace varias horas.

Teoría número dos: mire al cielo. Si no supiera lo que es, ¿no pensaría que es una enorme cúpula? Los antiguos astrónomos, de hecho, pensaron que literalmente era una cúpula, en la cual las estrellas y planetas estaban engarzados como joyas. Incluso en esta era del espacio, todavía parece que tenemos una impresión preconcebida del cielo como una cúpula. No podemos llegar a entender la idea de infinitud, así que imaginamos tácitamente que tiene unos límites finitos. Imagínese de forma consciente durante un instante. ¿Qué me diría si le preguntase lo lejos que está la cúpula celestial? Muy probablemente le parecerá que el extremo de la cúpula que toca el horizonte está más lejos que un punto de la cúpula justo sobre nuestras cabezas. En otras palabras, pensamos que el cielo es una especie de cúpula achatada; parece más confortable así. ¿Por qué? Nuestra experiencia siempre nos ha mostrado que los horizontes están lejos, pero no hay nada en nuestra experiencia, ni tampoco pistas visuales, que nos diga que el «techo del cielo» también está lejos.

Por lo tanto, cuando la Luna está cerca del horizonte, subconscientemente creemos que está más lejos que cuando está sobre nuestras cabezas. Pero toda nuestra experiencia visual nos dice que las cosas que están más lejos se ven más pequeñas. Así que cuando la Luna se mantiene en el mismo tamaño de siempre, incluso cuando está «lejos» en el horizonte, nuestro cerebro dice: «¡Caramba! Esta Luna debe ser verdaderamente grande». Y ésa es la impresión que obtenemos.

Yo apostaría por esta última explicación.



El rincón del quisquilloso

Todo lo que he dicho sobre la Luna (excepto que gira alrededor de la Tierra) también sirve para el Sol. También parece más grande cuando está cerca del horizonte, y por las mismas razones. ¿No ha visto esas puestas de sol espectaculares con ese sol absolutamente enorme? Ahora ya sabe por qué sus fotos de puestas de sol siempre son tan decepcionantes («¡Hubiera jurado que era mucho más grande!»)

Brilla, brilla, pequeño... ¿planeta?

¿Por qué centellean las estrellas?

La pregunta que se puede encontrar en todas partes es que el centelleo de las estrellas está causado por turbulencias en la atmósfera, lo que distorsiona la luz que viene de la estrella. Pero eso no explica por qué la «turbulencia atmosférica», sea lo que sea, distorsiona la luz, o de dónde viene el efecto de parpadeo, o por qué sólo las estrellas, pero no los planetas, centellean.

(Es cierto. Si ese punto de luz en el cielo no está centelleando, es un planeta o un avión. La única estrella que no centellea es el Sol. ¿Por qué? Siga leyendo). La mera turbulencia en el aire, conocido más comúnmente como viento, no tiene ningún tipo de efecto sobre las ondas de luz. La luz viaja a más de mil millones de kilómetros por hora, y no podría preocuparse menos sobre si el aire que está atravesando se mueve incluso a velocidades de huracanes de 160 kilómetros por hora. Lo que sí que distorsiona las ondas de luz es la variación de temperatura en el aire, no la variación de velocidad.

Obviamente, la temperatura de la atmósfera de la Tierra no es la misma en todas partes. No sólo hay varios climas, sino que la temperatura del aire varía en gran proporción con la altitud. Y eso sin tener en cuenta las erráticas colchas de aire caliente provocadas por la Tierra calentada por el Sol, las fábricas y otros factores que la luz de las estrellas debe atravesar antes de que alcance nuestros ojos aquí en el suelo. La luz de una estrella tiene que atravesar una auténtica carrera de obstáculos de aire a diferentes temperaturas. La turbulencia se ve implicada sólo en lo que concierne a los vientos, que están constantemente desordenando el aire a distintas temperaturas.

¿Y en qué influye todo eso? Bien, cuando la luz entra en un medio transparente como el aire, agua o cristal, generalmente cambia de dirección. (En jerga técnica, es refractada.) Así es como esos pedazos de cristal o plástico frente a sus ojos pueden corregir la forma en que la luz se enfoca sobre su retina. Pero el grado con el que un determinado medio transparente doblará la luz depende de su constitución atómica. El aire, por ejemplo, refracta o dobla la luz menos que el cristal. Pero he aquí el punto más importante para los entusiastas del centelleo: el aire caliente dobla la luz en menor grado que el aire frío.

A pesar de que los átomos en el aire caliente y frío son los mismos, están más separados en el ligero y ralo aire caliente, de forma que no pueden refractar tanto. Es muy similar a cómo el aire caliente y frío dobla las ondas sonoras.

Toda estrella (excepto el Sol) está tan lejos que la vemos sólo como un único punto perfecto en el cielo, un punto geométrico sin tamaño aparente, incluso si la miramos a través del telescopio más potente. Parece como si nos estuviera enviando un único rayo de luz. Cuando ese rayo nos llega a través de la atmósfera, es

desperdigado aquí y allá al pasar por aire a diferentes temperaturas y con diferentes capacidades de refracción. Cuando es desperdigado fuera de nuestros ojos, la estrella parece desaparecer por un instante. Es decir, se apaga en su parpadeo. Cuando el rayo resulta que es desperdigado hacia nuestros ojos, se enciende de nuevo. Este encendido y apagado es lo que a los románticos les gusta llamar un centelleo.

Para un objeto de apariencia grande como el Sol o la Luna, toda esa luz desperdigada no importa, porque hay tantos rayos de luz que vienen hacia nosotros que tantos son desperdigados hacia nuestros ojos como fuera de nuestros ojos, y la imagen parece fija.

Puede parecer que los planetas son puntos únicos de luz como las estrellas, pero no lo son. Basta con unos prismáticos para que se vean como discos. De modo que no titilan por la misma razón por la que no lo hacen el Sol y la Luna: mientras que algunos de sus rayos de luz se dispersan fuera de nuestros ojos, hay suficientes rayos que llegan a nuestros ojos como para que la imagen se mantenga fija.



No lo ha preguntado, pero.

¿Por qué los objetos distantes parecen ondular en un día caluroso?

Por gran parte de las mismas razones por las que una estrella centellea, excepto que hay suficientes rayos de luz que nos llegan del objeto, de forma que no importa cuánto se desperdigen, algunos de ellos siempre nos llegarán a los ojos, y por eso no hay centelleo.

Cuando mira a la carretera en un día caluroso, puede que vea ondulantes «líneas de calor» u «ondas de calor», y un coche distante aparecerá ondulante. Lo que está viendo son los efectos de la refracción de la luz: los rayos de luz doblándose cuando salen de un medio transparente y entran en otro.

En este caso, los rayos de luz del coche que está mirando están pasando a través de varias regiones de aire en su camino hacia sus ojos —aire a diferentes temperaturas y con diferentes capacidades de refracción, dependiendo de lo caliente que resulte estar cada sección de la carretera—. Un rayo de luz que llega hacia usted de una parte del coche puede estar atravesando una distinta combinación de temperaturas de aire, y, por lo tanto, puede ser refractado de forma diferente, que la luz que llega de otra parte del coche. Y eso produce la apariencia de que el vehículo en sí se está doblando.

Pero ¿por qué ondula la imagen distorsionada? Porque el aire caliente que se eleva y otro aire en circulación van cambiando la disposición de temperaturas a través de las cuales la luz viaja. Si la cantidad de refracción cambia, también cambia la imagen del coche.

La cara oculta de la Luna

¿Cómo consigue la Luna dar siempre la misma cara hacia la Tierra?

Parece extraño, ¿no? O bien es la más colosal coincidencia que jamás ha ocurrido, o algo realmente sospechoso está sucediendo. Bien, incluso las coincidencias más sospechosas pueden tener explicaciones racionales.

Su primera conjetura podría ser que la Luna no está girando sobre su eje de la forma en que lo hace la Tierra, y que solamente gira a nuestro alrededor, manteniendo siempre la misma orientación. Pero está girando sobre sí misma. E incluso si no fuera así, veríamos todos los lados según va girando alrededor de la Tierra. He aquí por qué.



Haga la prueba

Pongamos que usted es la Luna y que su amigo es la Tierra. Colóquese a varios metros, dándole la cara. Ahora mantenga la vista fija en un punto concreto de la pared —es decir, no gire sobre su propio eje— y dé vueltas alrededor de su compañero. (En la jerga de los bailes country, haga un «do-si-do».) Observe que en algún momento durante su vuelta, no puede impedir mostrarle su espalda. Para evitar eso tendría que seguir dándole la cara a lo largo de toda la vuelta, y eso requiere que dé toda una vuelta sobre sí mismo.

Entonces si la Luna está ciertamente girando sobre sí misma a la vez que alrededor de la Tierra, y aun así muestra siempre la misma cara, debe estar girando a un ritmo perfectamente sincronizado: exactamente una vuelta de la Luna para cada círculo que realiza alrededor de la Tierra. ¿Cómo puede ocurrir eso?

Bien, ya sabe que la Luna y la Tierra se remolcan entre sí por la acción de la gravedad. También sabe que la atracción de la Luna sobre la Tierra levanta los océanos formando unos abultamientos conocidos como las mareas. Pero lo que probablemente nunca pensó es que la Tierra también provoca abultamientos sobre la Luna; no son abultamientos en sus inexistentes océanos, sino en el suelo mismo de la Luna. Pequeños abultamientos, por supuesto, pero abultamientos de todas formas.

Llámelos mareas en el suelo, si quiere.



Recordando que la atracción de la Tierra sobre la Luna es mucho más fuerte que la atracción de la Luna sobre la Tierra porque la Tierra tiene mucha más masa, se dará cuenta de que la atracción de la Tierra puede deformar la Luna mucho más que la atracción de ésta pueda ejercer para deformar la Tierra.

Esta deformación de la Luna por la gravedad de la Tierra actúa como un freno sobre la rotación de la Luna. Es como si la gravedad de la Tierra estuviera intentando agarrarse con más fuerza a los abultamientos de la Luna porque están un poquito más cerca. Y esto tiene un efecto ralentizador. Así que incluso si la Luna estuviera girando como una peonza hace miles de millones de años, la gravedad de la Tierra la ha frenado a su paso actual. Hemos agarrado la Luna, la hemos domado y la hemos hecho hacer piruetas bajo nuestra propia melodía.

Y por cierto, la Luna está haciendo lo mismo a nuestro planeta, aunque en mucho menor grado porque su atracción gravitatoria es más débil. Es decir, al tirar de los océanos, la Luna ha estado ralentizando la rotación de la Tierra, haciendo nuestros días más largos. Hace unos 900 millones de años, un día en la Tierra duraba sólo dieciocho horas. En aquel tiempo, los sindicatos estaban contentos, porque más de seis horas de trabajo eran consideradas horas extra. Los oficinistas no estaban tan contentos, de todas formas, porque sus salarios anuales tenían que repartirse en un año de 487 días.



El rincón del quisquilloso

Aclaremos un par de cuestiones sobre la Luna. En primer lugar, la Luna no muestra exactamente la misma cara hacia nosotros todo el tiempo. Aunque gira a una velocidad constante, se bambolea un poquito de izquierda a derecha, engañándonos periódicamente al mostrarnos un atisbo de su parte trasera. Más sorprendente, quizá, es el hecho de que si quiere ser realmente detallista, la Luna no gira alrededor del centro de la Tierra. Es decir, el centro de la órbita de la Luna no está en el centro de la Tierra. La razón es que la gravitación no es una calle de un solo sentido, con la Tierra

aguantando la Luna en órbita. La Luna también aguanta a la Tierra, pero no tan fuertemente, por supuesto, debido a su menor masa. Podría decirse, entonces (y yo lo diré), que la Tierra está intentando girar alrededor de la Luna en cierto grado. El resultado es que cada una gira alrededor de la otra en una especie de baile de tiovivo. Es como los dos bailarines de country, un hombre pesado y una mujer ligera, ejecutando una maniobra de «gira tu pareja». Cada uno está girando alrededor del otro, pero la mujer, al ser más ligera, hace la mayor parte de la órbita. En algún lugar entre los dos hay un punto fijo que no está dando vueltas; es el centro inmóvil de ambas órbitas. Ese punto estará más cerca del hombre que de la mujer, porque, al ser más pesado, está mejor anclado para la maniobra de giro. Llamamos a ese punto estacionario el centro de masas de la pareja. Lo mismo ocurre con el baile de la Luna con la Tierra, El centro de ambas órbitas, el centro de masas del sistema Tierra-Luna, estará mucho más cercano a la Tierra que a la Luna. De hecho, la Tierra es tanto más pesada que la Luna que el centro de masas estará en realidad en algún punto en el interior de la Tierra, en algún lugar hacia fuera desde su centro geométrico.

Para resumir: en lugar de decir que la Luna gira alrededor de la Tierra, deberíamos decir que el sistema Tierra-Luna gira alrededor de su centro de masas.

Se trata de la Luna, tonto

¿Qué causa las mareas? Ya lo sé, es la Luna, pero ¿cómo? ¿Y por qué hay dos mareas altas y dos mareas bajas cada día, cuando sólo hay una Luna?

Siempre que alguien proclama pomposamente que las mareas son causadas por la Luna, todo el mundo murmura: «Ah, de acuerdo», y se va tan desconcertado como antes. «Es la Luna» sólo es una forma de acabar con la conversación, porque una explicación verdadera requiere mucho más que eso. Las mareas son el resultado neto de varias fuerzas producidas por el movimiento de la Luna, del Sol y de la propia Tierra, todos interactuando de forma compleja, pero comprendido con todo detalle por los oceanógrafos y geólogos.

Acompáñeme y se lo explicaré todo. O casi todo, en cualquier caso.

Imagínese la Tierra y la Luna como dos bolas, con la bola pequeña de la Luna dando vueltas alrededor de la bola de la Tierra más o menos a la altura del ecuador. Pero pare los movimientos de la Tierra y la Luna por un momento cuando la Luna esté a la derecha de la Tierra. ¿Lo tiene? La Tierra a la izquierda, la Luna a la derecha.

La fuerza gravitatoria de la Luna está intentando tirar el centro de la Tierra hacia

su propio centro: hacia la derecha. (¿Por qué los centros?) Llamemos a esta atracción la «atracción de centro a centro». Pero en los océanos del lado derecho de la Tierra, la atracción es ligeramente más fuerte que la del centro a centro, porque los océanos del lado derecho están más cerca de la Luna que el centro de la Tierra, y la fuerza gravitatoria es mayor a distancias menores. Esta atracción levemente mayor eleva los océanos con respecto al resto del planeta, haciendo que se abomben hacia fuera, y obtenemos una marea alta en el lado de la Tierra que da su cara a la Luna.

Mientras tanto, en el lado de la Tierra opuesto a la Luna (el izquierdo), los océanos están ligeramente más lejos de la Luna que el centro de la Tierra, y por lo tanto, sienten una atracción ligeramente menor que la del centro a centro. La mayor atracción entre los centros aleja levemente a la Tierra de los océanos del lado izquierdo, y esos océanos se abomban con respecto al resto del planeta. Eso crea una segunda marea alta en el lado opuesto del mundo con respecto a la Luna. Por lo tanto, siempre hay dos abombamientos de las aguas de los océanos en lados opuestos de la Tierra: en el lado que mira a donde resulta estar la Luna en ese momento, y en el lado directamente opuesto.

Ahora dejemos que la Tierra gire. Mientras da vueltas entre las dos fuerzas de abombamiento, cada punto de la Tierra pasa por dos situaciones de marea alta por cada rotación de veinticuatro horas, resultando en dos mareas altas al día. Y entre las mareas altas, ¿qué si no? Dos mareas bajas. Al fin y al cabo, el agua de las mareas altas tiene que venir de algún sitio. Y por cierto, si usted no es muy selectivo acerca de a quién escucha, puede que haya oído a alguien decir esto: «Los humanos están compuestos por agua en más de un 50%, y puesto que la Luna actúa sobre el agua creando las mareas, las fases de la Luna afectan el comportamiento humano». Bien, veamos. Los océanos del mundo pesan 1,5 millones de billones de toneladas y son movidos sólo unos pocos metros por la gravedad de la Luna. Un cuerpo humano puede contener unas pocas centésimas de una tonelada de agua. Las fuerzas gravitatorias son proporcionales a la masa; haga la cuenta. Cualquiera que crea que la gravedad de la Luna puede afectar al comportamiento humano debe tener agua en el cerebro.



El rincón del quisquilloso

Las dos mareas diarias no están exactamente separadas por doce horas. En lugares concretos de la Tierra, están separadas por doce horas y cincuenta minutos.

¿Por qué? Porque los abultamientos los causa la atracción de la Luna, y se mueven con ella en sus viajes alrededor de la Tierra. Mientras la Tierra hace una vuelta completa hacia el este en un período de veinticuatro horas, la Luna también se mueve hacia el este, de modo que se adelanta ligeramente a cualquier punto de la

Tierra. La Tierra entonces debe girar unos cincuenta minutos extra para que ese lugar atrape a la Luna; es decir, para que atrape al siguiente abultamiento de marea alta.

Otro detalle que hay que tener en cuenta: las mareas no son causadas sólo por la Luna. Hay otra gran cosa ahí fuera con un montón de gravedad: el Sol. Tiene veintisiete millones de veces más masa que la Luna, pero está 397 veces más lejos. De la forma que funciona la gravitación, la distancia reduce la fuerza mucho más que lo que la masa la aumenta. (En jerga técnica, la fuerza de gravedad aumenta en proporción directa con la masa, pero disminuye en proporción al cuadrado de la distancia.)

El resultado es que la gravitación solar afecta las mareas con un 46% de la fuerza de la Luna. Seguir la pista de los sutiles efectos de ese 46% sobre las mareas sería mucho más trabajo del que tanto usted como yo queremos hacer. Despreciando los efectos del Sol, todavía tenemos una buena comprensión de las mareas.

Esperando a la Luna llena

¿Por qué las mareas altas son más altas cuando hay Luna llena?

Es fácil engañarse a uno mismo pensando que la Luna es más grande cuando está llena, y que, por lo tanto, tira con más fuerza de los océanos, resultando en mareas más altas. Pero la Luna tiene siempre el mismo tamaño y está a la misma distancia de nosotros. Tan sólo es iluminada de forma diferente por el Sol en distintos momentos en su movimiento alrededor de la Tierra. Por eso la vemos como un disco lleno (Luna llena), un disco parcial (un semicírculo o creciente o menguante) o ningún tipo de disco (una Luna nueva).

En otras palabras, pasa por una serie de fases. Cuando la Luna, el Sol y la Tierra resultan estar alineados, vemos o bien una Luna llena o una Luna nueva.

La Luna se muestra llena cuando la Tierra está en el medio, entre la Luna y el Sol. Piense en ello como si estuviéramos sentados en el teatro Tierra, con el artista Luna en el escenario y el foco Sol detrás de nosotros. Veríamos toda la cara del artista. Por otra parte, según la Luna gira alrededor de nosotros, se coloca entre nosotros y el foco Sol (gire su asiento y mire a la Luna detrás de usted), vemos la Luna como un disco oscuro, es decir, una Luna nueva.

En ambos casos, Luna llena o Luna nueva, las fuerzas gravitatorias del Sol y la Luna están estirando en la misma dirección, y se refuerzan mutuamente produciendo una marea extra alta.

Luna azul, primera parte

¿Cada cuánto ocurre una «Luna azul»? ¿Tiene algo que ver con la Luna real?

Hay dos respuestas para la última de las preguntas: no y sí.

La respuesta del no: la expresión «cuando la Luna se vuelva azul» se ha usado durante cientos de años para querer decir «cuando se hiele el infierno» o «lo tienes negro». La expresión «Luna azul» apareció escrita por primera vez en el siglo XIX, pero fue usada probablemente con anterioridad porque es una idea extraña y en inglés casi rima (blue moon). No había intención de conectar esas expresiones con el comportamiento real de la Luna. (Pero la gente puede haber visto ocasionalmente una Luna real tintada de azul causada por humo en el aire.)

La respuesta del sí: cuando hay dos lunas llenas en el mismo mes, la segunda suele ser referida como una Luna azul. Esta forma de llamarla es muy reciente. Data de un artículo de marzo de 1946 en la revista de astronomía Sky and Telescope (en castellano, Cielo y telescopio), basado en un artículo del Maine Farmer's Almanac (en castellano, El almanaque del granjero de Maine), aparecido diez años antes. De todas formas, los editores de Sky and Telescope han admitido recientemente que habían malinterpretado el artículo del Maine Farmer's Almanac, y que el título «Luna azul» realmente hacía referencia a la cuarta Luna llena de una estación. Las estaciones duran tres meses, así que normalmente tienen sólo tres lunas llenas.

Eso es muy distinto. La cuarta Luna llena de una estación no es necesariamente la misma Luna llena que la segunda de un mismo mes; puede ser la única de ese mes. Pero el concepto de la cuarta Luna de una estación no es tan fácil de verificar como el de contar sencillamente el número de lunas llenas de un mes (cualquiera puede contar hasta dos), de modo que predigo que la interpretación de «Luna azul» como la segunda de un mismo mes no morirá nunca, digan lo que digan los astrónomos. No es muy inusual que dos lunas llenas caigan en el mismo mes; ocurre unas cuatro veces al año, mucho más frecuentemente que una cuarta Luna llena en una estación, lo cual ocurre en realidad «una vez cada Luna azul»: más o menos cada dos años y medio. He aquí cómo pueden tener lugar dos lunas llenas en un mismo mes.

Como ya sabe, nuestro calendario contiene once meses de treinta o treinta y un días, más febrero. Pero el mes lunar, el tiempo que tarda la Luna en dar una vuelta a la Tierra (ya sabe, por supuesto, que da vueltas a la Tierra) y volver a la posición en la que está totalmente iluminada, es de sólo veintinueve días y medio. Así que dos de esas iluminaciones separadas por veintinueve días y medio pueden caer fácilmente en el mismo período de treinta o treinta y un días. Nunca puede ocurrir en febrero, porque con sólo veintiocho o veintinueve días, febrero es más corto que el mes lunar.

Luna azul, segunda parte

Pero venga, ¿se vuelve azul alguna vez la Luna?

Sí, pero sólo cada... mucho tiempo. Tiene que haber exactamente el tipo adecuado de humo o polvo en el aire.

Ocurrió de forma más espectacular en 1883, cuando explotó la tapa del volcán indonesio Krakatoa, lanzando polvo a todo lo largo y ancho del globo. La Luna más azul desde la explosión del Krakatoa fue causada por una serie de incendios forestales en Canadá, en 1951. Cuando suceden esas cosas, la Luna en sí no cambia de color, por supuesto; sólo es la forma en que la vemos a través del aire lleno de humo. Comprender este efecto nos aleja un poco de la astronomía, pero la explicación implica algunas ideas fundamentales sobre la naturaleza de la luz que nos servirán en muchas otras situaciones. Así que aunque le importen un comino las lunas azules, no se vaya.

Lo que hay detrás de una Luna de apariencia azul, y muchas otras cosas que vemos, es el hecho de que la luz se dispersa. No quiero decir que se refleja, como cuando rebota del espejo del cuarto de baño para recordarle que se está haciendo viejo. Con «dispersión», los científicos quieren decir que las partículas individuales de la luz rebotan en moléculas y otras partículas diminutas, como bolas de billar que rebotan entre sí.

¿Dije partículas de luz? Y tanto que sí. ¿Y pensaba que la luz estaba formada por ondas? ¿Ondas de energía, más que partículas de energía? Pues bien, los dos tenemos razón. Resolvamos este pequeño problema en primer lugar.

La luz, y todas las demás llamadas radiaciones electromagnéticas, desde las ondas de radio hasta los rayos X, son ciertamente ondas de pura energía que viajan a través del espacio a la velocidad de, hum..., la luz. Podemos manipular las ondas de luz al hacerlas pasar por pedazos de cristal u otros materiales transparentes con una forma especial: lentes y prismas. Los practicantes de la ciencia de la óptica, que nos brindan los microscopios, telescopios y gafas, no tienen ningún problema en tratar los rayos de luz como si fueran ondas puras, haciéndolas reflejar y refractar (cambiar de dirección) para realizar una variedad de útiles trucos ópticos.

Pero otras cosas que hace la luz, como sacar electrones a golpes de los átomos, sólo pueden ser explicadas si la luz está formada por un chorro de partículas diminutas, como balas de una ametralladora. A esas balas de luz, y a las balas de otras radiaciones electromagnéticas, las llamamos fotones.

Así que ¿un rayo de luz es un chorro de ondas o un chorro de partículas? Quizá el descubrimiento más sorprendente e inquietante de la historia de la humanidad ha sido que la luz y otras radiaciones electromagnéticas se comportan como si fueran tanto

ondas como partículas. O, si lo prefiere, se comportan bien como ondas o bien como partículas, dependiendo de qué estén haciendo en un momento determinado.

Cuando un hombre llamado Albert Einstein (1879-1955) propuso en 1905 que la luz puede sacar electrones a golpes fuera de los átomos como si fueran un chorro de partículas-bala, obtuvo un Premio Nobel. (Su premio fue otorgado por este trabajo, por explicar el llamado efecto fotoeléctrico, y no por sus teorías de la relatividad, que todavía despertaban recelos.) Fue casi tan duro para los físicos asimilar esta idea de dos caras como lo es para usted. Pero un montón de evidencias desde entonces ha probado fuera de toda duda que es cierto. No sólo eso, sino (¿está preparado?) también lo contrario: partículas tan obvias como los electrones pueden actuar como si fueran ondas. Los físicos ahora ya están bastante acostumbrados a esta extraña esquizofrenia subatómica y la llaman dualidad onda-corpúsculo, o simplemente dualidad. Por más que le siga explicando, no conseguiré que le parezca más razonable. Así es tal como es, y si no le gusta, váyase a otro universo.

No quería ser brusco con eso, pero es que tenemos que seguir y explicar las lunas azules.

Dije que las causa la dispersión de los fotones de luz, presumiblemente después de chocar con algo. Bien, ¿qué puede causar que una partícula de luz se desvíe después de una colisión? Obviamente, una colisión con otra partícula que es al menos tan grande como ella. Porque está claro que una pelota de béisbol no será dispersada por una colisión con un mosquito, ¿verdad? Pero si chocara con otra pelota de béisbol durante su lanzamiento fuera del campo, sería desviada a otra dirección mucho menos fortuita. Así que debemos concluir que un fotón de luz puede ser desviado mejor cuando choca con algo que es aproximadamente de su tamaño.

Pero ¿cuál es el tamaño de un fotón? ¿Cómo se mide, si ni siquiera se estará quieto, oscilando como una onda cuando le parece? Bien, si la luz puede ser esquizofrénica, también pueden serlo los físicos, refugiándose en la descripción de luz como onda cuando a ellos les plazca. Consideran el «tamaño» de un fotón como su longitud de onda cuando se comporta como una onda. (Como una onda oscila de arriba abajo, que es lo que hacen las ondas de luz, la longitud de onda es la distancia entre dos sucesivos «arriba» o dos sucesivos «abajo».) Nuestra conclusión, entonces, es que la luz será dispersada mejor por objetos que son aproximadamente del mismo tamaño que su longitud de onda.

Espere: la Luna está a punto de volverse azul.

La luz que nos llega del Sol es una mezcla de todos los colores: todas las longitudes de onda desde el rojo, la más larga, hasta el violeta, la más corta. Cuando todos los colores de la luz diurna se mezclan, tal como están cuando los recibimos en la Tierra, nuestros ojos y cerebros interpretan la luz como que no tiene ningún color: luz blanca. Ésa es la luz que podemos ver. Pero hay otros «colores», infrarrojo y

ultravioleta, por ejemplo, a los que nuestros ojos humanos son insensibles.

En la luz que podemos ver, el azul tiene la longitud de onda más corta; está formada por los fotones «más pequeños», por lo tanto, será dispersada por las partículas más pequeñas que encuentre en sus viajes a través del aire, a saber: las moléculas de nitrógeno y oxígeno con las que está hecho el aire. Fue Einstein (de nuevo) quien resolvió exactamente cómo las moléculas dispersan la luz de diferentes longitudes de onda: cuanto más corta la longitud de onda, mayor dispersión. ¿Qué pasa entonces si el aire contiene algunas partículas más grandes que moléculas, como las partículas de polvo o humo? Entonces, los otros colores de la luz, las longitudes de onda más largas, pueden dispersarse más de lo normal. Si, y es un gran si, un incendio forestal o un volcán provocasen humo o partículas de polvo que son del tamaño exactamente adecuado como para dispersar la luz roja de mayor longitud, entonces la luz que llega desde la Luna tendría gran parte de su rojo dispersado antes de que alcanzase el suelo. Y la luz que es deficiente en rojo nos parece azulada. Y por lo tanto, también la Luna.



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué siempre hay un halo azulado sobre algunas montañas?

Los árboles perennes emiten vapores de compuestos químicos resinosos. Estos vapores pueden reaccionar con el ozono en el aire y producir partículas extremadamente sólidas del tamaño adecuado para dispersar la luz azul. Así que los fotones de luz azul son dispersados y vueltos a dispersar por todas partes, mientras que los otros colores atraviesan el aire en línea recta. De este modo, más azul llega a nuestros ojos que los otros colores.



Tampoco lo ha preguntado, pero...

¿Por eso el cielo es azul?

En bastante grado, sí. Pero el cielo no es azul porque la luz azul está siendo dispersada por el polvo, como se creyó al principio, y como mucha gente todavía cree. La luz azul está siendo dispersada por el nitrógeno, el oxígeno y otras moléculas que forman el aire. Estas moléculas dispersan mejor las longitudes de onda más corta, siendo el azul dispersado diez veces más que el rojo. Cuando miramos al cielo, estamos viendo toda esa luz azul extra que puede que no hubiera empezado yendo en nuestra dirección, pero que ha sido dispersada y vuelta a dispersar hacia nuestros ojos.



El rincón del quisquilloso

Los fotones de luz también rebotan en cosas mucho más grandes —más grandes que su longitud de onda—. La pelota de béisbol de hace un par de páginas sería ciertamente desviada de su trayectoria si chocase contra la barrera del campo. Así que la longitud de onda no importa cuando el objeto dispersor es más grande que todas las longitudes de onda de la luz visible; todas rebotarán. Eso es lo que ocurre cuando todos los colores de la luz se reflejan por igual en una superficie sólida como un espejo. No hay ningún cambio en la proporción de los colores.

¿Hace frío ahí arriba, o soy yo?

¿Por qué hace tanto frío en el espacio?

No hace frío. Los satélites y los transbordadores espaciales realmente se enfrían ahí arriba, pero no es porque haga frío. En primer lugar, no existe el frío, digan lo que digan los pingüinos. El frío es un concepto lingüístico, y no físico. Nuestros ancestros de las cavernas necesitaban una palabra para «no calor», y «frío» (o su equivalente en gruñidos) es lo que se les ocurrió. Es como luz y oscuridad, húmedo y seco. La luz y el agua son cosas tangibles, pero oscuro y seco denotan la ausencia de luz y agua, respectivamente. Son adjetivos negativos, con permiso de los lingüistas.

De acuerdo, eso era una diversión semántica, pero todo el mundo sabe qué queremos decir con «frío». Así que explique ya por qué el espacio no está frío.

De acuerdo, de acuerdo.

El calor es energía.

Es la energía que las moléculas de un objeto tienen en virtud del hecho de estar en movimiento. ¿Por qué están en movimiento? Porque hace unos 12.000 millones de años una inabarcable cantidad de energía emergió del vacío (o lo que fuera) a través del Big Bang —esa explosión asombrosa que los científicos creen que puso en marcha el Universo— y desde entonces todos los átomos todavía están vibrando. Algunos, los más calientes, están vibrando más que otros; nos referimos a estos últimos otros como más fríos.

Hace unos cuarenta años, cuando abandonamos la confortable atmósfera de nuestro planeta natal para aventurarnos en el vasto espacio, nos encontramos por primera vez con un entorno en el que no había calor con el que comparar nada, porque no hay (o hay apenas unas pocas) moléculas que puedan vibrar, y la palabra frío se volvió incluso más carente de sentido. El espacio no puede estar caliente ni frío, porque está vacío de materia.

Entonces ¿por qué los satélites y astronaves se vuelven tan... fríos? Algunas piezas de los transbordadores espaciales de la NASA sí que bajan a temperaturas de unos 130 grados Celsius bajo cero.

Esto es lo que pasa: un transbordador espacial o cualquier otro objeto puede ganar o perder calor no sólo por estar en contacto con materia que está más fría o caliente (y eso puede descartarse porque ahí arriba no hay materia), sino también por radiación. El Sol y las estrellas están emitiendo todo tipo de radiación: ondas de pura energía, tanto visible al ojo humano (luz) como invisible (ultravioleta, infrarrojo y otras). Esta radiación viaja por el espacio sin ser atenuada porque ahí no hay nada que la absorba. Pero cuando golpea un objeto, por ejemplo un transbordador espacial, parte de la radiación rebotará y seguirá su camino en otra dirección. Pero parte de la radiación será absorbida, y su energía será disipada en forma de calor.

Así, el transbordador espacial está recibiendo calor radiado del Sol y las estrellas. El Sol, por supuesto, es de lejos el principal radiador de calor porque está mucho más cerca que las otras estrellas.

Pero al mismo tiempo el transbordador, que todavía lleva su carga de calor terrestre, está radiando parte de su propia energía, porque todo lo que tenga algún tipo de calor emite radiación infrarroja —«radiación calorífica»—. Así es como los dispositivos de visión nocturna pueden «ver» a la gente en la oscuridad: mediante la radiación infrarroja que están enviando. Y así es como los radiadores anticuados funcionan: irradian calor en la habitación, en lugar de soplar aire caliente por la casa.

El transbordador, entonces, está recibiendo montones de calor irradiado por el lado que da al Sol, mientras irradia calor rápidamente por el otro lado, que se vuelve muy frío.

Nótese, entonces, que puede decirse que el transbordador en sí está frío porque es un objeto real, pero el entorno por el que vuela no está frío, ni semántica ni físicamente.



Apuesta de bar

No hace frío en el espacio exterior.

Capítulo 6. Todo mojado

Es la sustancia indispensable para todo ser vivo.

Más de la mitad del peso de nuestro cuerpo consta de ella. Es el compuesto químico más abundante en la Tierra, con más de un millón de billones de toneladas que recubren el 71% de la superficie del planeta, y probablemente otros mil millones de toneladas en esos botellines de plástico que todo el mundo lleva hoy en día.

Cuando en otro planeta se descubre apenas un poco de esta sustancia, los astrónomos se aturden con especulaciones sobre la existencia de vida extraterrestre. Es el agua, H₂O, uno de los más simples y estables de todos los compuestos químicos. Normalmente pensamos en el agua como un líquido, porque eso es lo que es dentro del rango de temperaturas de vida más confortable: entre, digamos, 4 y 27 grados Celsius. Pero como ya sabe, a cualquier temperatura bajo los 0 grados Celsius, prefiere existir en la forma sólida que llamamos hielo. Y a cualquier temperatura sobre los 100 grados Celsius, prefiere existir en forma de vapor: un gas indivisible, igual que el oxígeno y el nitrógeno del aire.

El agua no tiene que alcanzar su temperatura de ebullición para convertirse al menos parcialmente en vapor. Siempre que hay agua, hay vapor de agua en el aire de alrededor. A veces lo llamamos humedad, y tiene importantes consecuencias sobre muchos aspectos de nuestras vidas, mucho más que la de resultar incómoda en verano. En este capítulo veremos algunas de las cosas vertidas que hace el agua cuando está en forma líquida, como las manchas de café, hacer que los océanos sean salados y azules, y hacer que la cortina húmeda de su ducha le dé un cachete en... la ducha.

Tomaremos un pequeño desvío por el canal de Panamá en nuestro camino a la cocina, donde jugaremos con unos cubos de hielo y chupa-chups antes de ir a la lavandería para averiguar qué hay dentro de todas esas botellas y cajas de detergentes. Entonces examinaremos cómo el vapor de agua caliente afecta a los cosméticos, las secadoras de ropa y esa maldita humedad. Y como de costumbre, señalaremos algunos conceptos equivocados por el camino, esta vez respecto al color del agua, el flujo del vidrio y sobre si el aire caliente puede realmente «mantener la humedad».

Azul marino

¿Por qué el océano es azul? ¿Es simplemente un reflejo del cielo?

No. Ésa es una creencia común que simplemente no se mantiene a flote, por decirlo de alguna manera. En primer lugar, la superficie del océano no es exactamente lo que se diría un espejo. Y en segundo lugar, ¿cómo es que es de un azul mucho más oscuro que el del cielo?

No, los océanos del mundo son verdaderamente azules: muchos tonos diferentes de azul (pregunte a cualquier marinero), dependiendo de varios factores, algunos de los cuales comentaremos a continuación. Pero he aquí una sorpresa: incluso el agua limpia y pura, sin la sal, el limo ni los peces, es azul. Eso es así a pesar del hecho de que casi todos los diccionarios definen el agua como «un líquido incoloro e inodoro». Lo único que tiene que hacer es llenar su bañera y verá por usted mismo que no es incolora.



Haga la prueba

Llene su bañera y mire el agua. Verá que es de un color azul pálido. (Supongo que su bañera es blanca.) La única razón por la que no ve el color azul en un vaso de agua es porque no está mirando suficiente agua. El color se acumula al mirar a través de capas más y más gruesas de agua. Si las ventanas de su casa fueran diez veces más gruesas, vería que ese cristal «incoloro» es en realidad verde. Así que ¿por qué es azul el agua? Porque cuando la luz diurna, que contiene todos los colores de la luz juntos, entra en contacto con el agua y penetra en su interior, ciertos colores son absorbidos por las moléculas de agua.



La luz que es reflejada desde la bañera y alcanza sus ojos después de pasar por el agua está, por lo tanto, disminuida de esos colores absorbidos, de modo que tiene una composición de colores diferente de la luz diurna. Específicamente, las moléculas de agua tienen una ligera preferencia por la absorción de las porciones naranja y roja de la luz solar. La luz que está disminuida en naranja y rojo nos parece que posee demasiado azul, en comparación con lo que llamamos «luz blanca». Y por eso la vemos azul. Pero un océano es un caldero de peces mucho más complicado que sólo H₂O.

Además de las obvias sales y minerales, contiene plancton, es decir, diminutas plantas (fitoplancton) y animales (zooplancton) que son demasiado pequeños como para caer al fondo y flotan perpetuamente hasta que son descompuestos por bacterias o comidos por cualquier cosa más grande que ellos (es un mundo cruel). El agua marina también contiene gran variedad de materia orgánica disuelta que los científicos llaman por su nombre alemán, gelbstoff. Traducido al castellano significa algo así como «porquería amarilla», porque así es como se ve cuando está seca.

Cuando la luz diurna entra en el agua marina, el fitoplancton absorbe mayoritariamente la luz azul junto con un poco de rojo, mientras que el gelbstoff absorbe sobre todo luz azul. Estas absorciones desplazan el equilibrio de la luz restante, del azul pálido del agua pura a un azul más oscuro y sutilmente púrpura. Por eso, los océanos son más oscuros que el agua de su bañera, que espero que esté desprovista de gelbstoff. Por desgracia, las múltiples caras que el mar nos muestra en diferentes condiciones atmosféricas y distintos lugares del mundo no son fáciles de explicar. No es sólo la absorción de luz lo que da el color al agua marina, sino también la dispersión de la luz. Algunos colores de luz son dispersados por partículas microscópicas de materia en el agua.

Cuando un fotón de luz choca con una de esas partículas, que puede ser cualquier cosa desde una molécula, puede rebotar en otra dirección. Esto cambia la distribución de los colores que llegan a nuestros ojos. Es ese tipo de dispersión de luz en las moléculas del aire lo que hace que el cielo sea azul, porque las moléculas del aire dispersan la luz azul más que otros colores.

Algunos científicos han intentado explicar el color azul del océano completamente como consecuencia del mismo tipo de dispersión, pero aparentemente nunca han echado un vistazo a su bañera. El fitoplancton es un muy buen dispersor de la luz verde y amarilla, así que cuanto más fitoplancton hay, más verdosa parece el agua. Eso es lo que causa en su mayor parte ese hermoso verde turquesa de las aguas que rodean las islas del Caribe y el Pacífico Sur. El clima tropical y la abundante luz solar crean un exuberante entorno para el plancton. Y para los novios en luna de miel.

Tanta sal y no hay palomitas

Por qué son salados los océanos?

Cuando dice «salado», está pensando sin duda en el cloruro sódico, la sal de mesa común. Pero para un químico, una sal es cualquier miembro de una gran familia de productos químicos, y hay docenas de ellos en el océano. Para entender la palabra sal con perspectiva, por favor, deje que me recree con una lección de química de un párrafo. Una «molécula» de sal (no es realmente una molécula en el sentido estricto, pero no se lo diré a nadie si usted tampoco lo cuenta), está formada por una parte cargada positivamente y otra cargada negativamente que, al tener cargas opuestas, se atraen mutuamente.

Las partes positiva y negativa reciben el nombre de iones. En el caso del cloruro sódico, el ion positivo es un átomo de sodio cargado eléctricamente y el negativo es un átomo de cloro cargado eléctricamente. Pero el ion positivo de una sal puede ser

un átomo cargado de cualquier metal, y hay unos ochenta y cinco metales conocidos. También hay muchos iones negativos aparte del cloro, de modo que puede ver que hay un gran número de sales posibles. Fin de la lección de química. Los principales iones metálicos en el agua marina son el sodio, el magnesio, el calcio y el potasio, mientras que los principales iones negativos son el cloro, el azufre, el bicarbonato y el bromo.

Su pregunta, entonces, es cómo llegó todo eso a los océanos. La respuesta corta es que fue extraído de la tierra por las lluvias, que fluyeron al mar en forma de ríos. El agua marina está siendo reciclada continuamente. Cada año, un metro de grosor del agua de los océanos se evapora en el aire, se mueve por varios sistemas meteorológicos y vuelve a caer en los océanos y en la tierra en forma de lluvia o nieve. De esta precipitación, el 76% cae en los océanos y el 24% cae en los continentes. El agua que cae sobre los continentes fluye por arroyos y ríos, para acabar volviendo al mar. En el proceso de erosión, estas aguas recogen cualquier cosa que se disuelva, principalmente las sales que existen en las tierras, las rocas y los minerales.

Cualquier químico le dirá que las sales de sodio se disuelven mucho mejor en el agua que las sales de potasio, magnesio, calcio u otros metales. Más que ninguna otra, entonces, son las sales de sodio las que se disuelven y bajan a los océanos. Hay aproximadamente iguales cantidades de sales de sodio y potasio en las tierras, rocas y minerales, pero hay 28 veces más sodio que potasio en el agua marina. Todas esas sales disueltas forman el 3,47% del agua marina, en peso. Sólo seis elementos forman más del 99% de esas sales: cloro, sodio, azufre (en forma de sulfatos), magnesio, calcio y potasio, en orden decreciente. Otra fuente de sales marinas son las erupciones volcánicas, tanto en la tierra como bajo el mar, que escupen enormes cantidades de sólidos y gases. Entre los principales gases volcánicos están el dióxido de cloro y el de azufre, que puede que sean la causa de que el cloro sea el elemento más abundante en el agua marina, formando el 55% del peso de las sales, mientras que los sulfatos son los segundos en lo que respecta a los iones negativos de las sales. Juntando todos estos datos, el sodio y el cloro forman el 86% de las sales del océano.

Así que si quiere decir que los océanos son salados a causa del cloruro sódico, nadie discutirá mucho con usted.



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué son salados los océanos pero no los arroyos, los ríos y los lagos?

El agua de la lluvia baja por la tierra hacia los arroyos, ríos y lagos, transportando sales disueltas igual que cuando baja hacia los océanos. Pero la diferencia es que los

océanos son mucho más viejos que las otras aguas: 4.000 o 5.000 millones de años, comparado con meros millones. A lo largo de esos miles de millones de años, los océanos han estado reciclando sus aguas, evaporando el agua que llueve sobre el suelo y vuelve a fluir, volviendo cada vez con una carga fresca de sales. Esos ciclos han aumentado continuamente la carga de sal en los océanos.

¿A qué nivel está el nivel del mar?

Entiendo que el canal de Panamá tenga esclusas porque los océanos Atlántico y Pacífico no están al mismo nivel. Entonces, ¿a qué nos referimos cuando hablamos de alturas por encima del «nivel del mar»?

¿Qué mar? ¡ So! No es por eso por lo que el canal de Panamá tiene esclusas. Las esclusas están allí para levantar los barcos sobre la elevación de tierra conocida como istmo de Panamá. Para sobrepasar esa elevación, los barcos deben ser levantados veintiséis metros sobre el océano de entrada y a continuación descendidos hasta el océano de salida por el otro lado. Esto vale para ambas direcciones. ¿Por qué no cavaron simplemente una zanja plana de un océano a otro, un canal a nivel del mar? Sobre todo, porque hubiera implicado la extracción de una tremenda cantidad de tierra a un tremendo coste. Pero también se hubieran producido torrentes de agua saliendo a borbotones a través de un canal a nivel del mar. De todas formas, esto no se debe a ninguna diferencia permanente en el nivel de los dos océanos; sus niveles medios son los mismos.

Se debe a las mareas.

En el extremo del canal que da al Pacífico, las mareas pueden elevarse hasta cinco metros y medio, mientras que en el extremo del Atlántico las mareas sólo varían en unos sesenta centímetros. De modo que habría chorros de agua periódicos a través del canal desde el Pacífico hasta el Atlántico, es decir, de este a oeste. ¿Cree que lo he dicho al revés? ¿No está el océano Pacífico en el extremo oeste del canal? Pues no, porque por la forma en la que el istmo de Panamá serpentea, la entrada del Pacífico al canal está a cuarenta y tres kilómetros al este de la entrada del Atlántico. Compruébelo en un mapa.



Apuesta de bar

Un barco pasando por el canal de Panamá desde el océano Pacífico al océano Atlántico navega del este al oeste. (En realidad es del sudeste al noroeste, si quiere hilar fino.) Ahora volvamos a lo que queremos decir con «el nivel del mar».

Obviamente, a causa de las mareas, sólo podemos hablar del nivel medio de cualquier océano en cualquier lugar. Mientras los niveles medios del océano Atlántico y Pacífico son aproximadamente los mismos en el canal de Panamá, por ejemplo, eso no significa que todos los océanos del mundo tengan el mismo nivel medio. Podría prever que fuera así, porque si mira un globo terráqueo verá que todos están conectados; los océanos de la Tierra son una piscina gigante con pedazos de tierra desperdigados.

Pero incluso cuando hace la media de las mareas, hay razones por las que los océanos tienen diferentes niveles medios. La razón es que los efectos gravitatorios son mayores sobre masas mayores, y por lo tanto, los océanos más grandes serán elevados formando mareas más altas, por la atracción lunar. (Sólo los lagos más grandes tienen mareas.) Las variaciones meteorológicas también afectan a los niveles del mar. Cuando la presión del aire sobre un océano es baja, el agua se expandirá.

Es más, los vientos predominantes del oeste pueden hacer que el agua se apile un poco hacia el este. Y finalmente, las diferencias en la profundidad de los océanos pueden tener un efecto gravitatorio en el nivel del agua, porque cuanto más profundo es un océano, más fuertemente se comprimen las aguas por la gravedad, y más bajo será el nivel de su superficie.

Estos son pequeños efectos, pero cuando se aplican a tan enormes cantidades de agua pueden crear diferencias significativas en el nivel del mar en distintos lugares del mundo. Puesto que están conectadas, las aguas intentan, por supuesto, buscar un nivel común, pero son simplemente demasiado lentas para estar al día con todas esas variables.

Entonces ¿qué es el nivel medio? Es una media recogida cuidadosamente, realizada durante un período de diecinueve años a muchos niveles de mareas y en muchos lugares del mundo. Siempre que oiga que algo está a tantos metros sobre el «nivel del mar», o que la presión atmosférica al «nivel del mar» es de tantos milímetros de mercurio, se entiende que están hablando del nivel medio del mar: una media mundial y a largo plazo.

Lamentándose por el café derramado

Cuando el café que se ha derramado sobre el mostrador de la cocina se seca, forma un anillo marrón, con prácticamente nada dentro. ¿Por qué todo ese café va a los bordes a secarse?

Durante años, la gente ha observado este fenómeno sin pensar en él dos veces, o incluso ni una sola vez. Cientos de científicos bebedores de café probablemente han

mirado el anillo, han murmurado algo sobre la tensión superficial y le han dicho a su ayudante que lo limpiara

Pero no fue hasta 1997 cuando seis científicos de la Universidad de Chicago meditaron sobre esta cuestión tan trascendental y publicaron sus resultados en la revista de prestigio internacional Nature, para el beneficio de toda la humanidad, o al menos para esas sabandijas que hay entre nosotros que no limpian sus manchas antes de que se sequen. Ésta es la conclusión a la que llegaron después de realizar montones de cálculos matemáticos, indudablemente ayudados por grandes cantidades de cafeína. Cuando un charco de café se encuentra sobre una superficie lisa y plana, tiende a desparramarse en todas direcciones.

En una dirección determinada, el líquido parará de diseminarse cuando alcance una barrera: cualquier sutil irregularidad en la superficie que no pueda cruzar, como una zanja microscópica. Dependiendo de dónde resulte estar la barrera, el charco tomará una determinada forma: más larga en esta dirección, más corta en la otra, como una ameba. Mientras tiene lugar la evaporación, el charco empezará a secarse primero donde es más delgado: en los extremos. Esto tendría el efecto de hacer encoger el charco, haciendo retroceder sus extremos, pero no pueden retroceder porque están atrapados en las zanjas. Así que mientras el agua se evapora de los extremos, tiene que ser rellenada de algún lugar, y el único lugar del que puede venir es del interior del charco. Así, hay un movimiento de agua desde el interior del charco hacia los extremos, en donde se evapora. Ese flujo de agua transporta consigo las microscópicas partículas marrones que dan su color al café. Las partículas marrones entonces se encuentran atrapadas en los extremos cuando el charco agota finalmente su agua.



Haga la prueba

Primero, limpie el mostrador de su cocina; no se permiten películas de grasa. Si su mostrador es de un color claro, derrame sobre él un cuarto de cucharilla de café (solo, sin azúcar) y deje que se seque durante la noche. Verá el anillo marran. Si su mostrador es oscuro, el efecto se aprecia mucho mejor si usa agua salada. Disuelva media cucharilla de sal de mesa en media taza de agua y haga unos cuantos charcos de un cuarto de cucharilla sobre el mostrador. Cuando estén secos, verá anillos blancos de sal. Los cristales de sal son más gruesos que las partículas de café, de modo que los anillos serán más irregulares.

La dicha es mucha en la ducha

Cuando me estoy duchando ¿por qué la cortina me golpea furtivamente

en la pierna... o en algún otro lugar?

Tiene suerte de haber hecho esta pregunta hoy, porque hoy es el día de las gangas. Voy a darle cuatro respuestas por el precio de una. No es porque esté generoso, sino porque no puedo decidirme sobre cuál de ellas creer. Que yo sepa, la National Science Foundation (Fundación Nacional de las Ciencias) todavía no ha financiado un proyecto de investigación universitaria para resolver este problema desconcertante, así que los científicos han sido abandonados a debatir sus teorías mientras toman café o cerveza. He aquí cuatro soluciones concernientes al gran misterio de la cortina de la ducha. Pague su dinero y escoja la que más le guste.

1) Aire caliente que se eleva. La historia va de que el aire dentro de la ducha se calienta con el agua y, como todo el mundo sabe, el aire caliente se eleva. Si el aire caliente en la ducha se está elevando, el aire frío tiene que apresurarse a reemplazarlo en el fondo, y en el proceso sopla la cortina hacia dentro. Ésta es una explicación bonita, simple, atrayente y errónea. Simplemente haga la prueba con agua fría en lugar de con agua caliente, y verá cómo la cortina se mueve igual hacia dentro. (No tiene que estar dentro de la ducha fría; puede hacer el experimento desde fuera.)

2) Carga electrostática. Cuando el agua fluye por una abertura estrecha como la alcachofa de la ducha, puede adquirir una carga eléctrica. No es demasiado diferente de frotar los pies en una alfombra, en donde algunos electrones son cedidos a la alfombra y usted adquiere una carga positiva. Los electrones también pueden ser robados o cedidos al agua por la alcachofa de la ducha, según el material con que esté hecha, pero si las moléculas de agua tomasen, pongamos, una carga negativa en su salida de la alcachofa al recoger algunos electrones negativos, esos electrones extra repelerían algunos electrones de la superficie de la cortina de la ducha, porque las cargas similares se repelen. Eso dejaría la superficie de la cortina con una deficiencia de carga negativa, y sus inherentes cargas positivas dominarían. El agua cargada negativamente y la cortina cargada positivamente entonces se atraerían, como es habitual en las cargas opuestas, y la cortina avanzaría hacia el agua. Esto no es tan rebuscado como parece. (Espere a ver otras explicaciones.)

La carga electrostática inducida, que es como se llama al fenómeno, ocurre y es bien conocida. ¿Ha abierto alguna vez una caja embalada con esos ganchitos de espuma de estireno, sobre todo con algunos de ellos rotos en fragmentos pequeños? Pruebe a evitar que esas enloquecedoras motas salten a sus manos mientras intenta sacárselas de encima. Es debido a las cargas electrostáticas inducidas.



Haga la prueba

En un día seco de invierno, coloque unos cuantos fragmentos pequeños de espuma de estireno sobre la mesa. (Si hace tiempo que no recibe ningún paquete, puede usar pedacitos de papel ligero.) Ahora camine sobre una alfombra mientras se frota los pies para adquirir una carga corporal. Vuelva rápidamente a la mesa e intente tocar los ganchitos. Incluso antes de que los toque, saltarán a sus manos. La carga estática de su cuerpo ha inducido una carga opuesta en el plástico y la atracción resultante de cargas opuestas ha sido suficiente para hacerlos saltar hacia usted. De todas formas, no se sabe si la atracción electrostática inducida es lo bastante fuerte como para mover una cortina.



3) El principio de Bernoulli. El agua transporta algo de aire consigo, formando una corriente de aire cerca de la superficie interior de la cortina. Según el señor Bernoulli, cuanto más rápido se mueve un gas sobre una superficie, más baja es su presión contra esa superficie. Puesto que no hay corriente de aire sobre la parte exterior de la cortina, la presión en el interior es más baja y la cortina se mueve hacia dentro. 4) El efecto de Coanda, Los fluidos tienden a adherirse fuertemente a una superficie curva sobre la que fluyen. Este fenómeno se conoce como efecto de Coanda, en honor de Henri Coanda (1886-1972), un ingeniero aeronáutico rumano, que fue el primero en observarlo.



Haga la prueba

Aguante un vaso horizontalmente bajo un chorro fino de agua del grifo, de modo que el chorro caiga por un lado del vaso. Vea que cuando el agua llega al borde del vaso no cae recta. Se adhiere al cristal y sigue su superficie curva más allá del borde antes de caer. En la ducha, si la cortina ya está curvada hacia dentro, quizá por alguno de los otros efectos, el agua que fluye sobre su superficie puede tirar de ella más hacia dentro debido a la adherencia de Coanda.



El rincón del quisquilloso

Resolver exactamente por qué un fluido en movimiento se adhiere a una superficie les costó a Coanda y otros ingenieros aerodinámicos más de veinte años. He aquí la explicación definitiva. Las moléculas de un fluido exhiben cierta adherencia entre sí; lo que hacen algunas moléculas afecta a sus vecinas porque están algo ligadas entre sí. (En jerga técnica, los fluidos tienen cierta viscosidad.) Si una capa de moléculas de un fluido en movimiento tiene cierta adherencia a la superficie

por la que circula, el resto de las moléculas serán arrastradas por la superficie con ellas, y el fluido tenderá a adherirse más de lo que nos esperamos.

En el caso del agua sobre el cristal, la primera capa de moléculas de agua quiere adherirse porque el agua moja el cristal (pero no moja la cera, por ejemplo). La segunda capa quiere adherirse a la primera, de modo que también queda débilmente unida al cristal. La tercera capa se adhiere al cristal a través de las dos primeras capas, y así sucesivamente, con cada capa sucesiva adhiriéndose con menos fuerza que la que ¡a precede. Otras muchas capas son arrastradas mientras la adherencia supere la atracción gravitatoria, y entonces el agua finalmente cae por el borde del vaso, habiendo llegado más lejos por la curva del vaso de lo que era de esperar. La atracción que las moléculas de aire tienen entre sí es mucho menor que en el caso del agua (en jerga técnica, la viscosidad del aire es mucho menor que la del agua), así que se adhieren mucho menos a la superficie de la cortina de la ducha, pero el efecto sigue estando ahí.

Tanto el agua como el aire que la acompaña probablemente contribuyen a la atracción de la cortina. Esto es, si cree que el efecto de Coanda es la verdadera causa de su cortina adhesiva, Yo me inclino por la explicación electrostática.

Calcetines psicópatas

A no ser que utilice una de esas láminas suavizantes para secadoras, toda mi ropa sale de la secadora llena de electricidad estática, adherida entre sí. ¿Qué tienen que ver los suavizantes con la electricidad estática?

No mucho, excepto que el material que hay en la lámina de la secadora resulta que realiza bien las dos tareas. Puede obtener la función de eliminación de electricidad estática por sí sola en forma de un líquido en spray, así que puede eliminar la electricidad estática de su ropa incluso mientras la lleva puesta, sin tener que (¡NO PRUEBE ESTO EN CASA!) meterse dentro de la secadora.

El ingrediente principal en ambos tipos de productos es un tensoactivo, un compuesto químico hecho de lo que se podría llamar moléculas bisexuales; son atraídas tanto por el aceite como por el agua. La mayoría del resto de productos químicos muestra una fuerte preferencia por alguno de los dos. Por ejemplo, la sal común (cloruro sódico) está hecha de átomos cargados eléctricamente (en jerga técnica, iones), y a los átomos cargados les gusta mezclarse (disolverse) en el agua porque las moléculas de agua tienen cargas eléctricas que los atraen.

Pero la sal no tiene nada que hacer con grasas y aceites porque sus moléculas no cuentan con ninguna parte cargada atractiva. Intente disolver algo de sal en aceite de

oliva y verá lo lejos que llega. Los tensoactivos, en cambio, son peculiares en cuanto a que un extremo de cada molécula es un material graso que es atraído por los aceites, mientras que el otro extremo está cargado y es atraído por el agua.

El jabón y las moléculas de los detergentes son tensoactivos; sus extremos propensos al aceite se agarran a la suciedad grasienta y la arrastran al agua por medio de sus extremos propensos al agua. O visto de la otra forma, sus extremos propensos al agua la arrastran a lugares grasientos que no invadiría en caso contrario, haciendo, por lo tanto, el agua más húmeda. Ahora impregnemos una lámina de papel con un tensoactivo jabonoso y tirémoslo a la secadora junto con nuestras ropas mojadas. Mientras dan vueltas, las ropas frotan contra la lámina y se recubren con el tensoactivo.

Los extremos pesados y grasientos de las moléculas del tensoactivo imparten una sensación resbaladiza a la ropa, «suavizándola». Entonces cuando la ropa empieza a secarse, su fricción mutua arranca algunos electrones y la electricidad estática comienza a acumularse. Las cargas no pueden acumularse mientras la ropa está mojada porque el agua conduce la electricidad lo bastante bien como para llevar los electrones frotados de vuelta al lugar de donde vinieron.

Cuando el agua ya se ha ido, los extremos cargados de las moléculas del tensoactivo la reemplazan, conduciendo las cargas y anulando cualquier «adherencia estática» que pudiera resultar. Privados de su adherencia estática, los calcetines se ven incapaces de unirse a sus compañeros y pueden sufrir un síndrome grave de ansiedad por separación. De hecho, un calcetín puede deprimirse tanto que se escabullirá por el tubo de ventilación en busca de ayuda psiquiátrica. Por eso a veces usted observa que le falta un calcetín cuando guarda su ropa limpia. Ya sé que se lo había preguntado antes.



El rincón del quisquilloso

Hay tres tipos de tensoactivos cuyos nombres verá como ingredientes en las etiquetas de las láminas para secadora: líquidos suavizantes, sprays antiestáticos y detergentes sintéticos (vea la siguiente pregunta). Pueden ser listados como catiónicos, aniónicos o noniónicos. Los extremos cargados de las moléculas pueden estar cargados o bien positivamente (catiónicos) o negativamente (aniónicos).

Las moléculas de los tensoactivos noniónicos no tienen ningún tipo de carga, de modo que éstos pueden ser buenos suavizantes de ropa pero no son buenos eliminadores de adherencia electrostática. Un tensoactivo catiónico usado ampliamente es el cloruro amónico de dimetil ditallow, y un tensoactivo noniónico común es el polietileno glicol monostearato. Los detergentes de la ropa (vea la siguiente pregunta) generalmente contienen el tensoactivo aniónico

alquilbenzenosulfonato de sodio. Como si a usted le importasen estos nombres, ¿verdad? Pero ahora puede divertirse decodificando la lista de ingredientes en letra pequeña de las etiquetas de esos productos. Corra a la lavandería y écheles un vistazo.

Maravillas de la limpieza.

Todo detergente de ropa afirma ser «nuevo», «mejorado», «único» y mejor que todos los demás. ¿Acaso no son más quejaban?

No, esos detergentes no son jabón, aunque el jabón es un detergente. La palabra detergente simplemente significa una sustancia de limpieza, del latín detergeré, «frotar». Después de más de 2.000 años usando jabón, que es fácil de fabricar hirviendo cenizas con grasa animal (¿no se extraña de cómo se hizo ese descubrimiento?), los humanos al final crearon detergentes sintéticos, que en muchos casos funcionan incluso mejor que el jabón. Hoy en día reservamos la palabra detergente exclusivamente para esas pociones artificiales de productos químicos que ocupan tantas hectáreas de estanterías en nuestros supermercados. Todos los detergentes, incluido el jabón, son tensoactivos, compuestos químicos que tienen la habilidad de juntar el aceite y el agua.

La mayoría de la suciedad se adhiere a nuestra piel, ropa, platos y coches mediante una película pegajosa y aceitosa. Atraiga esa película aceitosa al agua y habrá conseguido sacar el «pegamento» que mantenía la suciedad unida a los objetos. Pero todas esas botellas y cajas de colores en las estanterías de los supermercados pueden contener todo un laboratorio de científico loco de otros productos químicos aparte de los tensoactivos. De otro modo, ¿cómo podrían los fabricantes seguir afirmando que sus productos son diferentes o mejores que todos los demás?

He aquí una lista de lo que se puede ocultar en sus productos de lavandería, limpieza de la casa, jabones, limpiacristales, lavavajillas y otros, además de tensoactivos. Y no olvide el ingrediente más caro de todos: publicidad. Mucha publicidad.

- **Ácidos y alcaloides:** los ácidos ayudan a eliminar la acumulación de minerales, mientras que los alcaloides atacan las manchas grasas y aceitosas. Por ejemplo, el ácido acético, el ácido cítrico, el amoníaco.
- **Abrillantadores ópticos:** hacen que la ropa parezca más brillante al convertir la luz amarilla o ultravioleta en luz azulada o blanca. Por ejemplo, los disulfonatos de estilbeno.

- **Acumuladores:** contrarrestan el agua dura, que interfiere en la efectividad del tensoactivo. Por ejemplo, el carbonato sódico, el tripolifosfato sódico. Este último es uno de los famosos fosfatos de los detergentes. Si los fosfatos llegan a los desagües y de ahí a los ríos y lagos, pueden dañar el medio ambiente rompiendo el equilibrio ecológico. Los fosfatos hacen que las algas crezcan profusamente, y cuando las aguas ya no pueden mantener más algas, éstas se mueren, lo que proporciona un festín a las bacterias, lo que agota el oxígeno del agua y mata los peces, que a su vez genera más organismos muertos para alimentar a las bacterias, etc. Debido a esto, los fosfatos han sido eliminados de la mayoría de los detergentes.
- **Agentes antibacterianos:** matan los microorganismos que producen enfermedades. Por ejemplo, el aceite de pino, el tricloban, el triclosan.
- **Agentes de antideposición:** una vez que se ha sacado la suciedad de encima, debe evitar que vuelva allá de donde venía. Por ejemplo, la celulosa de carboximetilo, el glicol de polietileno, el silicato sódico.
- **Agentes de control de la espuma:** controlan la cantidad de espuma. Por ejemplo, los alcanolamides y, ¿lo a pina?, el jabón.
- **Agentes suavizantes:** suavizan los tejidos y controlan la electricidad estática. Por ejemplo, los compuestos de amoníaco cuaternario.
- **Conservantes:** protegen el producto de la oxidación, la decoloración y el ataque bacteriano. Por ejemplo, el hidroxitolueno butilado y el EDTA.
- **Disolventes:** mantienen todos los ingredientes disueltos en los productos líquidos. Por ejemplo, el alcohol etílico y el glicol de propileno.
- **Enzimas:** los enzimas son productos químicos naturales que aceleran las reacciones químicas. En los detergentes de ropa aceleran la destrucción de tipos específicos de manchas, como las del césped. Por ejemplo, la proteasa y la celulasa.
- **Fragancias:** ocultan los olores del resto de ingredientes y le hacen pensar que su ropa está «fresca», signifique esto lo que signifique.
- **Inhibidores de la corrosión:** protegen las piezas metálicas de su lavadora o utensilios de cocina. Por ejemplo, el silicato sódico.
- **Lejías:** eliminan las manchas y «blanquean y abrillantan» su ropa. Por ejemplo, el hipoclorito sódico (lejía de cloro), el perborato de sodio (lejía «con protección del color»).

La vida en la lavandería no es tan simple como cuando todo lo que había que

hacer era hervir una olla con grasa de cabra y cenizas.

El vidrio caedizo

El profesor de mi hijo dijo en clase que el vidrio es en realidad un líquido muy compacto, y que con el tiempo suficiente podría verse cómo fluye bajo la influencia de la gravedad. ¿Es verdad?

Eso es un «hecho sorprendente» citado con cierta frecuencia y que simplemente es falso. Los líquidos se vuelven más compactos y viscosos al enfriarse, y puesto que el vidrio empieza estando líquido cuando está caliente y se le da forma, a algunos les gusta pensar que se vuelve más y más compacto mientras es «superenfriado», hasta que se vuelve tan compacto que se comporta como un sólido. Bien, la verdad es que es un sólido.

Si el vidrio fluye, su movimiento aparentemente requiere más de 4.000 años para ser detectado, porque ése es el tiempo durante el que ha estado entre nosotros, y nadie ha ofrecido una evidencia convincente de su movimiento. Ese es un agujero en la teoría del «líquido superenfriado». Pero el agujero más grande es que el vidrio no es un líquido superenfriado, a pesar de que unos cuantos libros de texto y enciclopedias afirman lo contrario. La fábula del «líquido superenfriado» existe por lo menos desde que yo iba al colegio y aceptaba todo lo que mis profesores decían.

Pero la ciencia y yo hemos recorrido muchos kilómetros desde entonces, y ya no hay ninguna excusa para perpetuar el mito. Si ha observado alguna vez el soplado del vidrio o su moldeado en formas artísticas, sabe que cuando está lo bastante caliente el vidrio ciertamente fluye como un líquido muy viscoso. Pero al enfriarse, no observamos una transición repentina de líquido a sólido, como se observa, por ejemplo, cuando el agua se enfría y se convierte en hielo. Esto ha hecho que muchos científicos bienintencionados concluyeran que el vidrio todavía debe ser un líquido incluso a temperatura ambiente, porque no se ha vuelto rígido de repente. Es más, según ese razonamiento, los sólidos son generalmente cristalinos, lo que significa que sus átomos o moléculas ocupan posiciones geométricas precisas entre sí, y las moléculas del vidrio no.

Como ejemplos de sólidos cristalinos está el hielo, el azúcar de mesa, la sal o casi cualquier mineral en el que pueda pensar. Si los átomos y moléculas de un sólido típico no estuvieran fijos en posiciones geométricas, podrían deslizarse entre sí; en otras palabras, fluirían como un líquido. Pero las moléculas de una sustancia no tienen que estar en forma cristalina para que aquélla sea un sólido. Existen los sólidos amorfos (del griego, «sin forma»), en los que las moléculas se hallan ciertamente

fijas, pero dispuestas de manera más o menos aleatoria. Ése es el caso del vidrio.

Es un sólido, de acuerdo; simplemente no es un sólido cristalino. (En jerga técnica, su estructura no exhibe un orden de amplio alcance.) Cuando el vidrio se enfría a partir de su estado derretido, sus moléculas no pueden encontrar una disposición ordenada y repetible en la que colocarse. Lo mismo ocurre con muchos otros sólidos amorfos como los plásticos y los chupa-chups. Los chupa-chups translúcidos son azúcar (sacarosa) en una forma amorfa y vidriosa, en comparación con su forma cristalina de la taza de azúcar.



Haga la prueba

Derrita algo de azúcar a fuego muy lento en una sartén pequeña. Si algunos cristales de azúcar se quedan en la parte de arriba sinderretirse, remuévalos con un tenedor. Cuando esté toda derretida, pero antes de que se vuelva muy oscura, viértala en una superficie fría y plana como un mármol o el fondo de una sartén. Las moléculas de azúcar se enfriarán tan deprisa que no tendrán tiempo de organizarse en forma cristalina y acabarán en forma vidriosa. Después de enfriarse, puede usted comerse sus vidrios de caramelo.

Por cierto, puede olvidarse de la palabra cristal que los fabricantes de vidrio utilizan para su mercancía de mayor calidad; en términos científicos, es simplemente incorrecto. Un «candelabro de cristal» o una «copa de cristal» están hechos de un vidrio tan amorfo como cualquier otro.

Sencillamente se trata de un tipo de vidrio particularmente claro y brillante, que en general contiene óxido de plomo. Bien, ahora es el momento de encarar una

leyenda urbana que nunca muere: que los cristales de las ventanas de los edificios centenarios son más gruesos en la parte inferior, porque han estado fluyendo a lo largo de los años como todo buen líquido superenfriado.

Si examina las ventanas de catedrales antiguas que todavía conservan sus vidrieras originales, seguramente observará muchos que ciertamente son más gruesos en su parte inferior. El problema es que nadie ha realizado medidas en las suficientes vidrieras como para determinar si hay una mayor cantidad de vidrios más gruesos en la parte inferior que en la parte superior, central o lateral. Pero si incluso una fracción significativa de antiguas vidrieras resultasen ser más gruesas en la parte inferior, eso no probaría que han fluido.



El vidrio de las ventanas antiguas se hizo con métodos bastante rudimentarios en comparación con nuestros procesos modernos, y un grosor desigual se toleraba más que otros defectos más graves, como burbujas y rasguños. Y si usted fuera un artesano que montase ventanas a partir de vidrio de grosor desigual, ¿no preferiría colocarlas con la parte más gruesa hacia abajo?

¿? No lo ha preguntado, pero...

Debe haber alguna temperatura relativamente alta a la que el vidrio sí que empieza a fluir. ¿Qué temperatura es ésa?

Los expertos del vidrio hablan de una «temperatura de transición» a la que el vidrio rígido sí que se vuelve ligeramente plástico. Para el cristal de las ventanas normales, la temperatura de transición es de unos 550 grados Celsius. Todo el mundo debe estar de acuerdo en que los cristales de las ventanas de los edificios antiguos nunca tuvieron que soportar tanto calor.

Equilibrio

Si el agua se congela exactamente a 0 grados Celsius y el hielo se derrite a exactamente 0 grados Celsius, ¿qué le ocurriría a un recipiente de hielo y agua a exactamente 0 grados Celsius?

Absolutamente nada, respecto a lo que podría verse. El hielo y el agua coexistirían pacíficamente. Pero al nivel molecular tendría lugar un baile caótico. Cero grados Celsius es tanto el punto de congelación del agua líquida como el punto de fusión del hielo sólido. Sin duda está imaginándose una pobre molécula de agua a 0 grados que no puede decidirse entre fluir o flotar, ser líquida o sólida. Bien, ésa es una buena forma de verlo, porque cada molécula realmente se tiene que decidir, en cierto modo. Consideremos primero lo que ocurre cuando las moléculas líquidas se congelan.

Hay unas atracciones bastante fuertes entre las moléculas de agua que hacen que tiendan a permanecer juntas. (En jerga técnica, el enlace de hidrógeno y la atracción dipolar.) En el agua líquida, las moléculas se mueven con la suficiente rapidez como para que estas atracciones puedan prevalecer. Pero conforme el agua (o cualquier otra sustancia a este respecto) se hiela, sus moléculas se mueven cada vez más despacio. Los 0 grados Celsius resulta ser la temperatura a la que las moléculas de agua se mueven justamente lo suficientemente despacio como para que puedan agarrarse

entre sí con sus fuerzas de atracción y establecerse en sus posiciones fijas que caracterizan al hielo.

Las moléculas del hielo están rígidamente sujetas en su sitio; no pueden ir nadando por ahí de la forma que lo hacen las moléculas del agua líquida. Ahora coloquemos un cubito de hielo en agua líquida. Parte de las moléculas de la superficie del hielo romperán sus ligaduras con sus compañeras y se unirán a sus hermanas que nadan libremente. En otras palabras, se derretirán. Mientras tanto, algunas de las moléculas líquidas de las cercanías de la superficie del hielo puede que se muevan más despacio que la velocidad de captura (no todas se mueven a la misma velocidad), y se congelarán en el hielo. Así que tanto la fusión como la congelación pueden estar ocurriendo simultáneamente, con algunas moléculas yendo en un sentido y otras en el otro.

Siempre que el agua esté ligeramente más caliente que los 0 grados Celsius, habrá más fusión que congelación, porque no habrá suficientes moléculas de agua lentas como para ser capturadas en el hielo. De forma inversa, si la temperatura del agua es ligeramente inferior que 0 grados, habrá más congelación que fusión, porque habrá más moléculas lentas que capturar. A exactamente 0 grados, habrá tantas moléculas de hielo fundiéndose como moléculas de líquido congelándose. Millones de moléculas diminutas están haciendo alguna de las dos cosas, pero desde nuestra relativamente gigantesca perspectiva humana, no vemos que ocurra absolutamente nada. El hielo y el agua sólo están ahí, hasta que, por supuesto, empiezan a calentarse y entonces la fusión tiene lugar.

En cierto modo, entonces, los 0 grados Celsius no son ni el «punto de fusión» ni el «punto de congelación» del agua. Es la temperatura a la que la fusión y la congelación están teniendo lugar por igual. Los científicos llaman a este punto punto de equilibrio. Dirían que a 0 grados Celsius el hielo y el agua líquida están «en equilibrio».

El equilibrio es un concepto muy importante en química porque hay muchas situaciones en las que, a nivel molecular, dos procesos opuestos están teniendo lugar en igual proporción, de modo que aquí a nivel humano no vemos cambio aparente. Para saber más, busque «equilibrio» en el índice de términos al final de cualquier libro de química. Pero le advierto: puede encontrarse con muchas ecuaciones. La fusión y la congelación están tan interrelacionadas que con sólo tocar un cubo de hielo puede hacer saltar algunas moléculas de agua de líquidas a sólidas.



Haga la prueba

Mójese los dedos y toque unos cubitos de hielo de su congelador. Puede que los cubitos se adhieran a sus dedos con tanta fuerza que los pueda levantar. El hielo ha enfriado el agua de sus dedos hasta su temperatura, que obviamente está por debajo

del punto de congelación. Al congelarse el agua de sus dedos, se agarra a las arrugas digitales y al mismo tiempo se fusiona con los cubitos de hielo, «pegando», por lo tanto, sus dedos a los cubitos.



¡Socorro! ¡Estamos atrapados en un cubito de hielo!

¿Por qué los cubitos de hielo tienen una especie de nube en su centro mientras que son más transparentes en los bordes?

Esa nube es una masa de diminutas burbujas de aire: aire que se disolvió en el agua y fue liberado cuando ésta se heló. Puede ver las burbujas individuales a través de una lupa. Siempre hay algo de aire disuelto en cualquier agua que haya sido expuesta a..., bueno, el aire. Debido a esto, los peces están muy agradecidos. Agradecen particularmente el hecho de que, aunque el aire sólo está compuesto de oxígeno en un 21%, éste se disuelva en el agua con el doble de facilidad que el otro 79% de aire, que en su mayor parte es nitrógeno. Cuando se hiela el agua, las moléculas de agua que hasta entonces se movían con cierta libertad se establecen en posiciones rígidas. Al hacerlo, expulsan las moléculas disueltas de oxígeno, porque simplemente no hay espacio para ellas. Cuando el agua comienza a helarse, las porciones externas se hielan primero porque están en mejor situación para que se les extraiga su calor. Conforme las moléculas de aire disuelto son apretadas, se ven atrapadas en la envoltura de hielo. Dichas moléculas se ven forzadas a juntarse cada vez más a medida que la pared creciente de agua helada se acerca a ellas. A la larga, son empaquetadas tanto que forman burbujas. Y ahí se quedan, atrapadas cuando el agua interior finalmente se hiela.

¡Socorro! ¡Estoy respirando!

Mi novia está preocupada porque si la humedad sube al 100%, estaremos respirando sólo agua y nos ahogaremos

Obviamente eso es una tontería, pero no puedo explicarle por qué. Pregúntele a su novia: «¿100% de qué?». Las gallinas que tienen miedo de ahogarse en el aire están olvidando que la «humedad» es puramente relativa.

Todo el mundo va hablando de «la humedad» como si fuera algo absoluto, pero en realidad están hablando de la humedad relativa: relativa con respecto a una cantidad máxima, pero todavía pequeña, de vapor de agua en el aire. Y fíjese en que es vapor, y no líquido. Incluso cuando la humedad relativa llega a ser del 100% a temperatura ambiente (veremos que la humedad varía con la temperatura), sólo hay una molécula de vapor de agua en el aire por cada 40 o 50 moléculas de aire.

El «vapor» es una palabra curiosa. Tan sólo significa «gas»: la forma de materia en la que las moléculas están flotando con libertad con un gran espacio entre ellas. Cualquier sustancia puede ser transformada en un gas si la calentamos lo suficiente como para que sus moléculas se separen completamente las unas de las otras. Sólo lo llamamos vapor cuando el gas en cuestión surgió de un líquido.

Llamamos gas al oxígeno del aire porque la mayoría de nosotros no lo ha visto nunca en forma de líquido. Pero generalmente no nos referimos al agua gaseosa como un gas porque sabemos que se origina de agua líquida. Lo llamamos «vapor de agua». En cualquier caso, ¿por qué escoge el agua meterse en el aire en forma de vapor? A cualquier temperatura, el agua encuentra un único punto de equilibrio entre su tendencia a existir en forma líquida y su tendencia a existir en forma de vapor. A temperaturas más cálidas, el equilibrio favorece al vapor, porque las moléculas se están moviendo más rápido y pueden escaparse con mayor facilidad. Así que cuanto más alta sea la temperatura, mayor será la tendencia del agua a estar en forma de vapor. Si coloca un poco de agua a una temperatura determinada en una caja cerrada, llenará la caja con la cantidad de vapor que es característico de esa temperatura, y entonces parará. Dejará de generar vapor cuando haya tantas moléculas del líquido abandonándolo cada segundo como moléculas de vapor que tocan la superficie del líquido y se quedan adheridas. Cuando estas dos tasas son iguales, no hay más cambio neto. (En jerga técnica, el líquido y el vapor están en equilibrio. A mucha gente, incluyendo a algunos científicos, les gustaría decir que el aire en la caja está saturado de vapor de agua, como si el aire fuera una bayeta mojada, conteniendo tanta agua como puede.

Pero ésa es una forma engañosa de verlo. Para explicarlo de otra manera: la cantidad de vapor en la caja es el 100% de la cantidad máxima que puede haber a esa

temperatura. En otras palabras, la humedad relativa es del 100%. Si sólo hubiese la mitad de vapor de agua, diríamos que la humedad relativa es del 50%, y así sucesivamente. Si viviéramos en una caja cerrada con algo de agua líquida en ella, la humedad relativa siempre sería del 100%: 100% de la máxima cantidad de vapor para esa temperatura de agua. Pero por supuesto no vivimos en esa caja. Vivimos en un mar de vientos en constante cambio, que transportan aire cálido, frío, de alta presión, de baja presión y todo lo demás que la meteorología puede ingeniar para soplar el vapor de agua de un sitio a otro. Por eso, la humedad relativa no es siempre del 100%, incluso cuando está lloviendo, o incluso sobre el océano. Asuste a su tímido amigo con este hecho: en un baño de vapor o en una sauna, la humedad relativa es del 100% y un poco más. En primer lugar, la temperatura es deliberadamente alta para conseguir que el máximo de agua posible esté en forma de vapor. Pero además de esa cantidad máxima de vapor de agua, hay gotitas de agua líquida suspendidas en el aire: lo llamamos niebla.

En un baño de vapor, está realmente respirando agua líquida. Pero nadie se ha ahogado por respirar niebla o vapor a una temperatura razonable porque todavía hay aire más que suficiente entre las gotitas en suspensión. (Cuidado: el vapor puede llegar a estar peligrosamente caliente, dependiendo de cómo ha sido producido, y a qué presión. El vapor de un baño de vapor es «vapor frío» y no está más caliente que el aire de la habitación.)



No lo ha preguntado, pero.

¿Qué es el «punto de rocío» del que hablan los hombres del tiempo?

A los meteorólogos les encanta decirnos la temperatura de punto de rocío, a pesar de que poca gente sabe qué es exactamente, y de que interesa incluso a menos gente. Pero ya que estamos hablando del vapor de agua, también explicaremos esto. El punto de rocío, o la temperatura de punto de rocío, es la temperatura bajo la cual el equilibrio entre líquido y vapor cambia para favorecer el lado del líquido.

Es decir, la condensación gana a la evaporación. Si la temperatura está por encima del punto de rocío, el agua líquida seguirá pasando a vapor hasta que toda sea evaporada; las cosas húmedas se secarán. Pero si la temperatura está por debajo del punto de rocío, el equilibrio se inclina a favor del líquido, y el vapor tenderá a condensarse.

Cuando esto ocurre en la atmósfera, el vapor se condensa en masas de gotas microscópicas de agua que son demasiado pequeñas como para caer y se mantienen suspendidas en el aire. A esas masas de diminutas gotas de agua las llamamos nubes. Un ejemplo más terrestre: si el suelo se enfría por la noche por debajo de la temperatura del punto de rocío, el vapor de agua del aire se condensará en la hierba y las hojas en forma de gotas de rocío. Esto es importante para los granjeros porque el

rocío es, al fin y al cabo, agua gratis para sus cultivos.

También hay ecosistemas en el mundo en los que casi nunca llueve y en los que los animales pequeños dependen del rocío para su suministro de agua.



El rincón del quisquilloso

Los anuncios de cosméticos, sobre todo los de cremas «hidratantes», disfrutan usando la palabra hidratación cuando se refieren al «agua». Consideran la palabra agua como demasiado común para productos tan elegantes. Así que la próxima vez que vaya a un restaurante de lujo, asegúrense de pedir un vaso de hidratación al camarero. Y por cierto, ¿qué hace la «hidratación» de los cosméticos? ¿Añaden humedad, o agua, o como quiera llamarlo? No. Si eso fuera cierto, ¿no le bastaría con mojarse la cara? Los cosméticos «hidratantes» recubren su piel con una pócima de aceites y otros productos químicos que impiden el paso del agua, para que el suministro de agua natural de su piel permanezca sobre ella en lugar de evaporarse. Suena paradójico, pero el aceite de los cosméticos produce agua.

Secador caliente

¿Por qué un secador de pelo tiene que calentar a la vez que soplar?

Esta es una de esas preguntas que parecen tan naturales que nos olvidamos de hacerlas. Pero para esto estoy aquí: para que se haga preguntas sobre cosas que da por sentadas, y reemplace entonces su complacencia por la satisfacción del conocimiento.

El agua líquida que hay en su pelo o ropa primero tiene que convertirse en vapor para poder ser soplada por una corriente de aire. Eliminar agua líquida soplando no es nada fácil, como puede comprobar con los vientos huracanados que se usan para secar un coche en el túnel de lavado. Calentar el agua líquida en su pelo o ropa (y eso es lo que hace el aire caliente) acelera las moléculas de agua, de forma que una mayor cantidad de ellas puede salir volando. (En jerga técnica, el agua caliente tiene una presión de vapor más alta; véase el siguiente apartado.)

El calor, por tanto, acelera la evaporación del agua, y una vez se ha evaporado puede ser barrida por el chorro de aire. Pero ¿cuánto vapor puede producir el agua calentada por el aire? ¿A qué velocidad puede evaporarse? Las moléculas de agua líquida pueden seguir evaporándose hasta que el espacio por encima del líquido esté tan lleno de moléculas de vapor que hay tantas que vuelven a la forma líquida como las que salen de ella. (En jerga técnica, hasta que el líquido y el vapor están en equilibrio.) Ahí es donde entra el soplado. El aire en movimiento del secador elimina

de un soplido parte de esas moléculas de vapor para evitar que vuelvan al líquido. Esto «cede espacio» para más moléculas de vapor, y la evaporación continúa.

Por eso, los secadores de pelo y de ropa calientan al tiempo que soplan. Lo uno sin lo otro no conseguiría su objetivo con tanta eficacia. ¿Qué pasaría si se estropease el ventilador de su secador de pelo y solamente calentase el aire, o si se estropease el calentador y sólo soplase aire frío? Si ya hay mucho vapor de agua en el aire (por ejemplo, si el cuarto de baño ya tiene mucha humedad a causa de la ducha), el agua de su pelo no podría evaporarse tan rápidamente. Sería necesario mucho más tiempo para secar el pelo y obtener esa sensación sexy sedosa, de caída de pelo a cámara lenta que muestran los anuncios de televisión.

Tener, pero no mantener

***¿Por qué el aire caliente puede mantener más humedad que el aire frío?
Por eso hay más humedad en verano, ¿no?***

No. Generalmente hay más humedad en verano porque hay más vapor de agua disponible. No quiero decir que los océanos, lagos y ríos se expandan con el calor (bueno, quizá un poco). ¿Más precipitaciones? Quizá. Pero no es la cantidad de agua en sí; la humedad puede ser bastante baja en medio del océano. Lo que importa es cuánta agua está siendo convertida en vapor.

Hay más humedad en verano porque los suministros de agua (los océanos, lagos, ríos y lluvias) están más calientes, y el agua es más proclive a hacer vapor cuando su temperatura es más alta. Note que no he dicho nada en absoluto sobre el aire o su capacidad para «mantener agua». La humedad es el vapor que viene del agua, tanto si hay aire como si no.

Cuando decimos «hoy hay mucha humedad», estamos dando por supuesto que la humedad en cuestión está en el aire, porque, después de todo, ¿dónde si no iba a estar? Pero el aire no desempeña ningún papel en la humedad; como el monte Everest, simplemente está «allí», como un espectador. Piense en ello de la siguiente manera: resulta que estamos sumergidos en un mar de aire, igual que los peces están sumergidos en un mar de agua. Si alguien vacía una carga de tinta roja en el océano, un pez podría decir: «Caramba, hoy hace un día rojo». Pero ese rojo no es el agua en sí, es la tinta que se ha mezclado en el agua. Pues bien, la humedad es agua que resulta estar mezclada en el aire. De todas formas, oír a los científicos y meteorólogos explicar la humedad y otros fenómenos atmosféricos hablando sobre «la cantidad de humedad que el aire puede mantener», y decir que el aire caliente puede «mantener más humedad» que el aire frío.

Ésa es una noción equivocada y engañosa. El aire no está agarrándose al vapor de agua; no tiene tal capacidad de agarre.

He aquí por qué.

El aire y el vapor de agua son gases, y en los gases los espacios entre las moléculas son tan amplios que dos gases cualesquiera pueden mezclarse en cualquier proporción sin que ninguno de los dos «sepa», o controle, qué cantidad hay del otro. Todo lo que puede hacer el aire es aceptar el vapor de agua, cualquier cantidad que el agua escoja ceder en función de su temperatura. Es una decisión únicamente del agua cuántas ganas tiene de estar en forma de vapor en lugar de en forma líquida. Ahora me imagino que quiere saber por qué el agua caliente produce más vapor de agua que el agua fría, ¿verdad? Así es la ciencia: cada respuesta genera más preguntas.

El agua, como todos los líquidos, tiene una cierta tendencia a que sus moléculas abandonen la superficie del líquido y salgan volando por el aire. Esto es así porque todas las moléculas se mueven a distintas velocidades, y siempre habrá algunas de ellas en la superficie del líquido que tienen suficiente energía como para salir volando en forma de vapor de agua. Puesto que las moléculas se mueven más rápido a temperaturas más altas, habrá más fugitivas potenciales en el agua caliente que en la fría. Por ejemplo, a 30 grados Celsius, el agua produce 7 veces más moléculas de vapor en un espacio determinado que el agua a 0 grados Celsius. Siempre hay una especie de tira y afloja entre las moléculas de un líquido. Su velocidad las incita a salir volando en forma de vapor, pero la atracción a sus moléculas compañeras las incita a quedarse en el líquido.

A cualquier temperatura, el agua debe encontrar un equilibrio entre esas dos tendencias. A temperaturas más bajas, el líquido tiende a ganar; a temperaturas más altas, el vapor gana debido a las mayores velocidades moleculares. (El límite final es cuando el líquido hierve y se convierte completamente en vapor.) A una temperatura determinada, todo líquido tiene su propio punto de equilibrio entre vapor y líquido, porque sus moléculas tienen su propio grado de adherencia mutua. Un líquido cuyas moléculas estén pegadas fuertemente no formará vapor con facilidad, de modo que su punto de equilibrio tenderá a favorecer la forma líquida sobre la de vapor. Las moléculas de gasolina, por otra parte, no se adhieren mutuamente demasiado, así que su punto de equilibrio favorece el vapor y la gasolina se evapora (vaporiza) mucho más rápido que el agua.

La tendencia de las moléculas líquidas a escapar y salir volando en forma de vapor es la presión de vapor del líquido. En jerga técnica, diríamos que la gasolina tiene una mayor presión de vapor que el agua, y que el agua caliente tiene mayor presión de vapor que el agua fría. Digamos que estamos en una caja cerrada que contiene algo de agua. El agua pronto encontraría un equilibrio entre líquido y vapor, en función de la temperatura. (El líquido y el vapor estarían en equilibrio.) Si nuestra

caja se enfriase de repente, el agua debería hallar un nuevo equilibrio entre vapor y líquido basado en esa nueva temperatura más baja.

El nuevo equilibrio estaría en la dirección de menos vapor y más líquido, de forma que parte del vapor tendría que condensarse y convertirse en líquido. Habría lluvia o rocío en nuestra caja. Otros podrían afirmar que ha llovido porque «había más vapor de agua en el aire frío del que éste podía mantener». Pero nunca dije que había aire en la caja, ¿verdad? Llovió solamente porque el agua cambió su equilibrio líquido-vapor por sí sola. Habría la misma humedad en la caja si en lugar de aire hubiese otro gas con una supuesta distinta «capacidad de mantener el vapor».

¡No veo por dónde voy!

Cuando el parabrisas de mi coche se empaña, ¿cómo puedo desempañarlo lo más rápido posible?

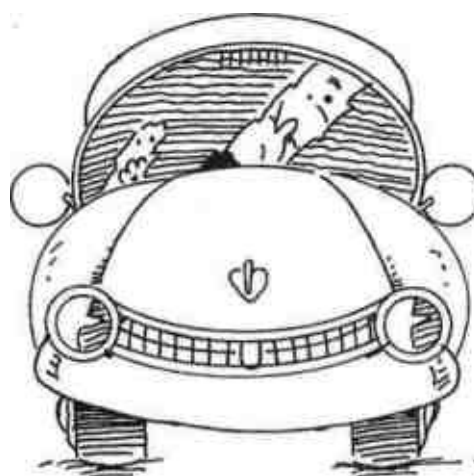
Su coche es un entorno cerrado con su propio sistema atmosférico, producido por su respiración, su calefacción, su aire acondicionado y sus pasajeros. Pero a veces, debido al hábito irrefrenable de respirar de los pasajeros, el coche se llena de vapor de agua y parte del vapor se condensa sobre el frío parabrisas, empañándolo. ¿Qué hacer?



Haga la prueba

Cuando haya mucha humedad en su coche y el parabrisas se empañe por dentro debido a la condensación de humedad, ponga en marcha el aire acondicionado, sin importar el frío que haga fuera. (Siempre puede encender la calefacción, incluso con el aire acondicionado en marcha.) Dirija el aire frío al parabrisas y éste se desempañará en un instante.

Lo que ha ocurrido es que el aire acondicionado se ha llevado el vapor de agua (junto con el aire mezclado con el vapor) y lo ha enfriado hasta una temperatura más baja, a la que el agua prefiere estar líquida. Se ha condensado en el interior del aparato de aire acondicionado, y de ahí ha sido expulsada fuera del coche. A partir de entonces no hay suficiente vapor de agua en el coche para esa temperatura, y el líquido del parabrisas ha restaurado el equilibrio al volverse vapor. ¡Voilà! Un parabrisas seco.



Pero ¿qué ocurre con el parabrisas trasero? Cuando se empaña, no hay forma de soplar aire frío sobre él; el aire frío sale por las aberturas frontales, donde el conductor lo necesita, y, por lo tanto, no hay un conducto para el parabrisas trasero. ¿Y cómo lo han arreglado estos sagaces diseñadores de coches? Han incrustado delgados cables calefactores en el cristal trasero. En lugar de soplar aire frío y seco sobre él, basta con calentar el cristal. Eso eleva su temperatura por encima del punto al que el agua prefiere estar en forma líquida, de modo que se vuelve vapor y el parabrisas se desempaña. Extraño, ¿no? Para desempañar el parabrisas delantero enfría el aire, pero para desempañar el trasero calienta el cristal, y el resultado es el mismo.

¿Por qué nunca explican esto los manuales de los coches? ¿Cuánta gente circula por ahí con el parabrisas empañado, sin tener la más brumosa idea de qué hacer con él? ¿Y qué ocurre con el espejo de su cuarto de baño? Después de una ducha, el espejo se empaña más que un parabrisas en la jungla más húmeda, y justo cuando quiere afeitarse o maquillarse. Apuesto a que en su cuarto de baño no hay ni aire acondicionado ni cables calefactores, así que no puede usar ninguno de los dos trucos del coche. Pero probablemente tiene a mano un secador de pelo. Páselo por delante del espejo, como si estuviera pintando el cristal con aire caliente. El aire del secador calentará el agua condensada en el cristal lo suficiente como para que prefiera estar en forma de vapor, así que se evaporará, igual que ocurre en el cristal trasero de su coche.

El olor de la lluvia

Un vecino granjero dice que puede oler cuándo va a llover. ¿Me está tomando el pelo?

Probablemente no. No es la lluvia en sí lo que huele, sino prácticamente todo lo demás.

Casi todo huele un poco más fuerte cuando está a punto de llover. El tiempo lluvioso, en general, va precedido por una caída en la presión atmosférica, o lo que los meteorólogos de la televisión llaman la «presión barométrica». (¿Es la presión que se siente cuando uno es golpeado por un barómetro?) Es decir, antes de llover la presión ejercida por el aire baja, y aprieta con menos fuerza en el campo. Mientras tanto, todos los árboles, hierba, flores, cultivos y, sí, incluso el ganado, están emitiendo sus olores característicos.

Los olores son pequeñas cantidades de vapores emitidos por sustancias, y los olemos cuando las moléculas de vapor viajan por el aire hasta nuestras narices.

Cuando la presión del aire es baja y no ejerce tanta fuerza, permite que más de esos vapores escapen por el aire, y todo huele un poquito más fuerte. Además, cuando se acerca el frente de bajas presiones que anticipa la lluvia, va acompañado por un viento que transporta olores distantes que no se detectan normalmente. Por supuesto, un granjero está entrenado en reconocer las pistas atmosféricas, así que puede que nos engañe un poco consultando el cielo, los vientos e incluso su artritis.

Por cierto, los doctores solían creer que la gente con las articulaciones artríticas podía sentir acercarse la lluvia porque hay pequeñas burbujas de gas en las articulaciones, y cuando la presión del aire baja, esas burbujas se expanden y causan presión interna. Bonita teoría, pero tengo entendido que ya no está de moda.

Capítulo 7. Casos y cosas

La nuestra es una sociedad materialista.

Puede que hablemos de los pájaros, de las abejas, de los árboles, de la Luna y de las estrellas, pero nos rodeamos de una acumulación de bienes: cosas que han sido manufacturadas, vendidas, compradas, usadas y finalmente tiradas a la basura. Incluso cuando vamos de excursión al campo hemos de tener un saco de dormir, una cantimplora, un cuchillo y, generalmente, algo de ropa (los mosquitos pueden ser fieros). Todos ellos, bienes manufacturados. La ciencia reside en todo. Todo artefacto tiene buenas razones, a menudo razones insospechadas y fascinantes, para ser precisamente lo que es y nada más que eso. No me refiero al invento o la tecnología de su manufactura. La invención, y la tecnología no son ciencia; son aplicaciones de la ciencia. Me refiero a los principios fundamentales que otorgan a cada sustancia u objeto una individualidad única como material o cosa.

En este capítulo examinaremos los materiales y artículos que usamos a diario, o casi a diario: del jabón a los refrescos gaseosos, de las gomas de borrar a los explosivos, de la goma elástica a la radiactividad, de los aviones a los automóviles, del papel de aluminio a los monopatines.

Y terminaremos este libro de respuestas abordando la **Pregunta Más Fundamental del Mundo**: ¿por qué algunas cosas ocurren y otras no ocurren?

Tanto si lo cree como si no lo cree, hay una respuesta general.

¡Extra, extra: un tiburón muerde a un avión!

Cada vez que me pongo nervioso porque tengo que ir en avión, alguien me dice que las probabilidades de tener un accidente de aviación mortal son mucho más pequeñas que las de ser atacado por un tiburón. Lo que no comprendo es cómo resulta que muchos ataques de tiburones hacen que mi avión sea más seguro.

Enhorabuena. Ha puesto el dedo en el ejemplo más flagrante de números que engañan. Echemos un vistazo a algunas estadísticas.

Entre 1994 y 1997, la media de ataques anuales de tiburón en aguas de Estados Unidos fue de treinta y tres. En los mismos cuatro años, la media de accidentes mortales de aviación fue de tres. Así que tiene usted once veces menos probabilidades de estar en un accidente mortal de aviación que de ser atacado por un

tiburón, ¿verdad?

Falso. No tiene ningún sentido comparar dos hechos completamente diferentes. ¿Por qué querría alguien mencionar ataques de tiburones y accidentes de avión en la misma frase, excepto para favorecer un punto de vista predeterminado? Cualquier persona que se reconforte con un argumento tan falso tiene más probabilidades de morir de ingenuidad que de un ataque de tiburón o en un accidente de aviación.

Pero incluso si fuera relevante comparar estas cifras tan completamente inconexas, seguirían sin tener ningún sentido sin un montón de otros datos. ¿La gente que murió en accidentes de avión volaba mucho más o mucho menos que usted? De ser así, sus probabilidades eran distintas de las suyas. ¿Y cuántos de los 250 millones de ciudadanos de Estados Unidos se han metido en el agua? ¿Lo hicieron en Florida, donde ocurre la mayor parte de ataques de tiburones, o en Nueva York, donde todos los animales peligrosos están en los zoológicos y en el metro?

Lo que la gente no comprende es que cuando usted está en un avión sus probabilidades de morir en un accidente de aviación son infinitamente más altas, y no más bajas, que sus probabilidades de ser atacado por un tiburón, porque a excepción de los abogados, no hay depredadores en los aviones. Preocúpese de los tiburones cuando esté en el agua; preocúpese de los aviones cuando esté en el aire. La única conexión posible sería si su avión se estrellase en aguas infestadas de tiburones, en cuyo caso las estadísticas se le pondrían totalmente en su contra.

Pero queda una pregunta legítima: '¿cuánto debería preocuparse sobre los aviones cuando esté en el aire? ¿Cuáles son las estadísticas relevantes?

Yo me siento seguro al volar debido a una sola estadística, y no tiene nada que ver con el número de muertes por ataque de tiburón, ahogo, caídas accidentales, suicidios, accidentes de automóvil o caídas de rayo: números que son citados con frecuencia para apaciguar los miedos de pasajeros temblorosos, y todos igual de irrelevantes. La única estadística que me repito tiene que ver con mi vuelo en particular, en el que estoy volando. Y la probabilidad de que cualquier vuelo termine en un accidente mortal es de 1 entre 2,5 millones. Eso es más que suficiente para mí.

Excepto cuando el avión pasa por una zona de turbulencias, por supuesto.

El truco de la goma de borrar

¿Cómo borra las marcas de lápiz una goma de borrar?

No funciona igual que un borrador de pizarra, que limpia una acumulación de tiza de una superficie lisa. El papel no es tan liso y la marca de un lápiz no está toda en la superficie; la mayoría está incrustada entre las fibras del papel. Si mira las marcas de

lápiz en un microscopio, verá que no son continuas; están hechas de partículas negras individuales, de unas pocas milésimas de milímetro, que se aferran a las fibras de papel y se enmarañan entre ellas. La misión de la goma de borrar es la de arrancar esas pequeñas partículas fuera del papel. Puede conseguirlo porque a) es lo bastante flexible como para meterse por entre las fibras y b) es lo bastante pegajosa como para agarrar esas partículas y tirar de ellas.

Pero mientras la goma está frotando el papel, las fibras del papel están arrancando trozos de la goma. Las partículas arrancadas de la goma se enrollan alrededor de las partículas negras recogidas, formando esas migas que hay que apartar del papel. Bajo el microscopio, esas migas parecen enchiladas enrolladas en polvo de carbón, por hacer un símil poco apetitoso.

Las partículas negras están hechas de grafito, una forma mineral, brillante y negra del carbono que se rompe en copos con facilidad. En su forma pura, el grafito se deshace con demasiada facilidad como para hacer líneas detalladas, de modo que para obtener las minas de lápiz es mezclado con yeso a fin de endurecerlo y cera para ligarlo.

Hasta mediados del siglo XVI se usaba plomo para escribir, frotándolo sobre una superficie lisa. Fue entonces cuando un naturalista suizo llamado Conrad von Gesner (1516-1565) colocó grafito en una montura de madera y fabricó el primer lápiz. Hasta ese momento se pensaba que el grafito era una forma de plomo. De ahí que la palabra alemana para designar un lápiz sea Bleistift, que se traduce literalmente como «espiga de plomo», y que la palabra inglesa para designar una mina de lápiz sea lead, que se traduce como «plomo». Y ya que estamos, la palabra inglesa pencil («lápiz») viene del latín penicillus, que significa «cepillo». Y a su vez, penicillus es el diminutivo de penis, que significa «cola». La culpa no es mía.

Los llamados lápices suaves, como los famosos n.º 2 que se usan para rellenar las casillas de las respuestas de esos tests que son corregidos por una máquina, no son más oscuros porque las partículas de grafito sean más oscuras. Lo que ocurre es que más partículas se depositan sobre el papel porque la mina tiene una mayor proporción de suave grafito con respecto al duro yeso. La mayor proporción de grafito permite que más y mayores partículas negras se depositen sobre el papel, que resulta en una marca más ancha y densa.

El grafito es un mineral brillante, y las marcas densas que quedan en las hojas de los tests cuando llenamos las casillas con nuestros lápices n.º 2, reflejan la luz. Las hojas de los tests se pasan por una máquina que las explora con rayos de luz y busca reflejos. Si la luz se refleja en los lugares correctos pero no en los incorrectos, enhorabuena: tiene usted buena nota.

¿Y cuál es el origen del descubrimiento de la goma de borrar? En 1752, un miembro de la Academia Francesa sugirió que el caucho coagulado, o látex, una

savia gomosa que se obtiene de unos árboles sudamericanos, podía ser frotado sobre las marcas de lápiz para borrarlas.

El nombre «grafito» tiene su origen en la palabra griega *graphein*, que significa «escribir», aunque hoy en día el nombre no tiene el mismo sentido literal, porque el grafito se usa en muchas otras aplicaciones, desde lubricantes hasta palos de golf. Esto demuestra que la escritura siempre ha tenido más importancia para la humanidad que los automóviles o el golf, aunque en nuestra sociedad actual nadie lo diría.

El truco de la goma elástica

¿Por qué se estira la goma elástica?

Si hay alguna afirmación que lo convierta en un creyente apasionado de las moléculas, es ésta: la goma es elástica porque está hecha de moléculas elásticas. Una goma elástica se estira porque cada una de sus moléculas, por sí sola, no es más que una goma elástica en miniatura.

Las moléculas de la goma tienen forma de gusanos largos y delgados, enrollados en forma de rizo, pero con capacidad de ser enderezados si son estirados adecuadamente por la cabeza y la cola. Un trozo de goma es como una lata de esos gusanos, enredados entre sí.

Pero piense: no podría enderezar toda una maraña de gusanos a base de agarrar una cabeza y una cola cualesquiera y estirar; simplemente resbalarían entre sí (a no ser que perteneciesen a la misma desafortunada criatura). La cabeza y la cola tendrían que estar unidas entre sí de alguna manera, de modo que un tirón en un gusano se transmitiese a su vecino, y al vecino de su vecino, y así sucesivamente.

Lo que necesitamos es una lata de gusanos que están soldados entre sí por varios puntos: gusanos siameses, unidos por la cintura a lo largo de varios puntos de su cuerpo (de acuerdo, los gusanos no tienen cintura, pero ya capta la idea).

Así es como son realmente las moléculas de la goma. Pero no al principio, cuando la savia de látex gotea por el árbol del caucho y es enfriado y comprimido en un bulto pegajoso. Sus moléculas no están demasiado soldadas entre sí, y en particular cuando son calentadas pueden resbalar entre sí con facilidad, y el material se vuelve suave y pegajoso. Una bola hecha de goma cruda golpearía el suelo con un ruido seco. Y ni se le ocurra hacer ruedas con eso.

Por lo tanto, los humanos tienen que llevar a cabo las soldaduras por sí mismos. Usan un proceso simple llamado vulcanización: calentar la goma junto con azufre. Los átomos de azufre forman puentes, o ligaduras, entre las moléculas de goma, lo que permite que se estiren hasta cierto punto, pero que las urgen a volver a sus

posiciones iniciales. Por eso, la goma tratada es elástica: las moléculas se estiran, pero los puentes de azufre siempre las devolverán a su posición original.

La vulcanización hace que la goma cruda y pegajosa se vuelva lo bastante dura como para ser utilizada en las ruedas. El proceso fue descubierto en 1839 por Charles Goodyear (1800-1860) —sí, ese Goodyear—, que llevaba diez años intentando encontrar una forma de endurecer la goma hasta que accidentalmente derramó un poco de goma mezclada con azufre sobre un horno caliente y se volvió dura y elástica. Su descubrimiento lo hizo famoso pero no rico, y murió muy endeudado. Así da tumbos el mundo.



Haga la prueba

Hágase con una goma elástica robusta, de al menos medio centímetro de ancho, y tóquela un momento con su labio superior para comprobar su temperatura. A continuación estírela rápidamente y, estando estirada, tóquela de nuevo con su labio superior. Está más caliente que antes.



¿Qué es lo que la ha hecho calentarse?

Cuando estiró la goma, le transmitió energía, ¿verdad? Esa energía la calentó. La energía vino de sus músculos, y tendrá que comer más o menos una caloría de comida para recargarla. Cuando se estira una goma elástica, sus moléculas estiradas están en una disposición más ordenada —más alineada— de lo que estaban en su estado enredado y sin estirar. Como todo el mundo sabe a fuerza de limpiar la casa, el orden sólo puede conseguirse a base de gastar energía en el proceso. Así que las moléculas estiradas deben contener más energía —están más calientes— que las moléculas relajadas.

Acabo de colarle furtivamente una consecuencia de la segunda ley de la termodinámica. Esta ley de la naturaleza expresa la relación entre la energía y la entropía, el grado de desorden de una configuración de materia. Esto es desorden: el

grado de mezcla fortuita y al azar. La segunda ley reconoce que las tendencias naturales de la naturaleza son: a) que la energía disminuya —las cosas tienden a frenarse y enfriarse—, y b) que la entropía o desorden aumente —las cosas tienden a dispersarse y desordenarse—. Si quiere contrarrestar la tendencia al desorden (mayor entropía), tiene que aumentar la energía de la configuración. Ése es un hecho inevitable de la naturaleza; todo lo que ocurre es consecuencia de un equilibrio entre energía y entropía.

Neumáticos chirriantes

¿Por qué mis nuevos neumáticos son mucho más ruidosos que los viejos, sobre todo cuando conduzco deprisa? A veces apenas puedo oír la sirena de la policía detrás de mí.

Ignoraré las implicaciones de la última parte de la pregunta.

Un factor obvio es que sus neumáticos viejos debían de estar bastante suaves, y las ruedas suaves son bastante más silenciosas.

El ruido de los neumáticos depende de las marcas de los surcos, la rugosidad de la carretera y la redondez de las ruedas. Realmente, los neumáticos pueden no ser perfectamente redondos y las partes que sobresalen golpearán en la carretera durante cada revolución. Pero asumiendo que sus ruedas son más redondas que cuadradas y que está sobre una carretera lo bastante suave (es decir, que no está en el estado de Pensilvania), la verdadera pregunta es por qué la goma rodante tiene que hacer ruido; podría pensarse que no puede haber nada más silencioso. Y ciertamente los fabricantes de neumáticos se esfuerzan en hacer que sus productos sean lo más silenciosos posible.

He aquí algunas de las cosas que tienen que considerar.

Como puede adivinar por la complejidad del sonido (no es que sea un tono puramente musical), una combinación de varios factores hace que las ruedas vibren. Cuando la superficie de un neumático vibra, el aire de dentro y fuera de esa superficie también vibra, y eso es exactamente el sonido: vibraciones del aire.

El origen de la mayoría de las vibraciones es el «área de contacto»: el área del neumático aplanada en contacto con la carretera, que cambia constantemente. Conforme cada segmento del neumático entra en el área por turnos, golpea contra la carretera y es aplanado en el área de contacto. Esos golpes constantes hacen ruido. Pero sus neumáticos nuevos no son completamente suaves (a no ser que sea un piloto de carreras). Tienen surcos en zigzag que dividen el neumático en bloques separados de goma. Y esos bloques golpean la carretera en una secuencia de ra-ta-ta-ta de

ametralladora. Más ruido. Es más, conforme cada bloque de goma alcanza el extremo trasero del área de contacto, vuelve rápidamente a su forma original, haciendo vibrar otra vez el aire a su alrededor. Aún más ruido.

Una fuente menos obvia de ruido tiene que ver con el escape de aire comprimido. Según gira el neumático, un surco entrando en el área de contacto puede atrapar algo de aire y comprimirlo contra la carretera. Cuando el surco abandona el área de contacto, el aire atrapado es soltado hacia atrás en un repentino pedo, si me disculpan. Se han realizado experimentos con superficies porosas de carretera que pueden reducir de modo considerable esta fuente de ruido al dejar que el aire se filtre directamente en la carretera.

Todos estos efectos dependen del dibujo de los surcos y de las características de la superficie de la carretera. Y cuanto más rápido vaya, por supuesto, más veces por segundo ocurren todos esos procesos ruidosos. Conducir a menor velocidad no sólo reducirá el ruido de sus neumáticos, sino que también eliminará por completo esa molesta sirena.

Ventanas empañadas

Una película de suciedad parece acumularse en el interior del parabrisas de mi coche. No fumo ni dejo que nadie fume en mi coche. ¿Qué produce esa película?

Una buena película merece otra, así que responderé tomando prestada una frase famosa del film de 1967 El graduado: «Una palabra: "plásticos"». Son principalmente los plásticos de su coche lo que produce esa capa en su parabrisas.

¿Recuerda cómo olía su coche cuando era nuevo? Olía a nuevo. El olor de un coche nuevo es una mezcla de los muchos productos químicos volátiles usados en su fabricación, desde la pintura y disolventes hasta productos usados para tratar la goma, el plástico y los tejidos y, si usted es adinerado, ese «rico cuero corintio» de los asientos. De hecho, cada sustancia del mundo está evaporando continuamente algunas de sus moléculas en el aire, en mayor o menor grado. (En jerga técnica, cada sustancia tiene cierta presión de vapor. Olemos una sustancia cuando algunas de sus moléculas evaporadas alcanzan las células del nervio olfativo en nuestras narices. Y las que no acaban en nuestras narices pueden aterrizar en cualquier otro lugar del coche.

La mayor parte de estas sustancias volátiles se evapora por completo y se disipa mucho antes de que haya pagado el préstamo del coche, y cuando esto ocurre su vehículo ya no huele a nuevo. Pero otras sustancias, que no huelen tanto a una deuda

nueva, son liberadas en el aire más lentamente, a lo largo de un mayor período de tiempo.

Los plásticos, en particular, son los mayores emisores de productos químicos a largo plazo: principalmente los plastificadores, que son productos químicos cerosos que les dan flexibilidad. Cuando su coche es expuesto al sol, la intensa radiación que entra a través del parabrisas (los coches modernos tienen parabrisas casi horizontales para mejorar la aerodinámica) golpea la cubierta del salpicadero y hace fluir el vapor de los plastificadores, que a continuación se condensa en el cristal, que está ligeramente más frío. La película pegajosa resultante, hecha de plastificador ceroso, recoge entonces partículas de polvo que entran por los conductos de aire que están junto al parabrisas. Si quiere deshacerse de esta película, o bien limpia el parabrisas o compra un coche nuevo.

La arruga es bella

¿Por qué se arruga tanto la ropa, y cómo se eliminan las arrugas al plancharla?

Su ropa se arruga porque usted insiste en ponerla en un cuerpo templado, húmedo y en movimiento. Si su cuerpo estuviera frío, seco y quieto, no tendría problemas. No tendría problemas con la ropa, al menos.

Son el calor y la humedad los que arrugan la ropa, y son el calor y la humedad los que van a quitar las arrugas. Prensar la ropa en seco y frío, incluso con mucha presión, conseguiría poco; necesita tanto el calor como la humedad que hicieron el estropicio original.

Es difícil generalizar sobre las arrugas y el planchado, porque hay muchos tipos diferentes de fibras con las que están hechas nuestras ropas hoy en día. Están las fibras sintéticas (hechas por el hombre), incluyendo el nailon (nylon) y los poliésteres y acrílicos con distintos nombres o marcas. Todas las fibras sintéticas están hechas de productos químicos conocidos como polímeros: materiales compuestos de enormes moléculas, cada una de las cuales está compuesta de miles de moléculas idénticas de menor tamaño, todas ellas ensartadas en cadenas enormemente largas (para una molécula). Muchas de estas fibras sintéticas son sensibles al calor. Es decir, cuando son calentadas se curvan, y cuando se enfrían retienen la curvatura. Si eso se le hace a una prenda en la fábrica, retendrá su forma.

Por otra parte, están las fibras naturales obtenidas de plantas, animales e insectos, incluyendo el algodón de la planta del algodón, el lino de la planta del lino, la lana de varios animales y la seda de los gusanos. Me centraré en una de las más antiguas

fibras y con mayor tendencia a las arrugas: el algodón. En lo que respecta a las arrugas, es un mal actor.

Las fibras de algodón son filamentos de celulosa, un polímero natural que se da en las células de las plantas. (Siendo meticulosos, una fibra es una unidad de algodón que es al menos cien veces más larga que ancha, mientras que un filamento es una fibra extralarga, una hebra está hecha de muchos filamentos y un hilo está hecho de muchos filamentos trenzados. Sabía que querría saberlo.)

Una fibra de algodón actúa en cierto modo como una larga y delgada barra de metal, en el sentido de que al ser doblada ligeramente vuelve a su forma original, pero a partir de una cierta curvatura se quedará doblada. La curvatura que puede aguantar antes de retener la arruga depende de la temperatura. Hay una cierta temperatura por debajo de la cual resistirá el doblado y por encima de la cual se quedará doblada. Para el algodón seco, esta temperatura, llamada temperatura de transición, es de unos 49 grados Celsius.

De momento, tiene suerte, porque la temperatura de su cuerpo es sólo de unos 37 grados Celsius, bastante por debajo de la temperatura de arruga.

Pero entonces está el efecto de la humedad. El agua, en forma de transpiración, por ejemplo, puede bajar la temperatura de transición del algodón hasta 21 grados Celsius. Y tanto si lo sabe como si no, siempre está transpirando. Normalmente no se da cuenta porque la transpiración se evapora de su piel a la misma velocidad que se produce, excepto, por supuesto, cuando el aire está muy húmedo, en cuyo caso no se evapora y usted dice que está «sudando».

Así que si ahora tiene la audacia de sentarse sobre sus pantalones o falda, o de doblar su ropa al doblar sus extremidades calientes y húmedas, las fibras pueden doblarse en nuevas y retorcidas formas. Entonces cuando se levanta, su transpiración se evapora y las fibras se enfrían por debajo de la temperatura de transición y se quedan con las nuevas formas. Su ropa está arrugada y usted ya no se ve tan elegante.

¿Cómo hacer para que esas fibras vuelvan a su forma lisa original? Simplemente deles calor y humedad de nuevo, para ponerlas por encima de la temperatura de transición mientras mantiene el tejido en su forma plana original con la plancha. El vapor baja la temperatura de transición muy por debajo de la temperatura de la plancha, de modo que el tejido puede alisarse. Una manera fácil de imaginar todo esto es que el calor y la humedad «derriten» la estructura de las fibras, y cuando se enfrían sus formas se «congelan», tanto si esas formas resultan ser lisas como retorcidas.

Al lavar la ropa, siempre trate de retirar sus ropas de la secadora mientras están calientes y ligeramente húmedas. En esas condiciones puede extenderlas y se enfriarán en esa forma lisa. O puede colgarlas y dejar que la gravedad tire de ellas y las mantenga lisas. Pero si las deja en la secadora durante demasiado tiempo después

de que ha terminado de secarlas, se enfriarán en sus posiciones desordenadas y se harán arrugas.



El rincón del quisquilloso

¿Por qué hay una temperatura determinada por encima de la cual el algodón empieza a arrugarse?

El algodón está hecho de celulosa, un polímero natural cuyas moléculas están formadas por miles de moléculas de azúcar (glucosa), unidas en largas cadenas. Las fibras de algodón son paquetes de esas moléculas de celulosa, todas ellas dispuestas linealmente en la dirección de la fibra.

Aquí y allá, las moléculas de celulosa están débilmente unidas entre sí lateralmente por los llamados enlaces de hidrógeno, que las mantienen juntas como un paquete de palitos. El truco consiste en mantenerlos de esa forma, porque si esos enlaces débiles se rompen y se reconstruyen mientras las fibras están dobladas, se conservarán dobladas.

Los enlaces de hidrógeno pueden romperse con una combinación de calor, que hace vibrar las moléculas, y agua, que hincha las fibras al meterse por entre las moléculas. El agua reduce la temperatura de transición porque cuando las fibras se hinchan las moléculas están más lejos y son más fáciles de separar. Por eso, una plancha de vapor funciona mucho mejor que una seca.

¡Ollie-hop!

He visto a chicos hacer cosas sobre monopatines que parecen desafiar las leyes de la física. Mientras saltan sobre un obstáculo, la tabla se levanta con ellos, aunque no esté unida a sus pies con nada. ¿Cómo puede ser posible?

Lo que está describiendo es una maniobra denominada ollie, llamada así en honor de su inventor, Alien Ollie Gelfand. Gelfand fue uno de los pocos surfistas del sur de California que a finales de la década de 1950 no podían esperar a que hubiera buenas olas y decidió hacer surf por las aceras. Eso es lo que inició la locura de los monopatines.

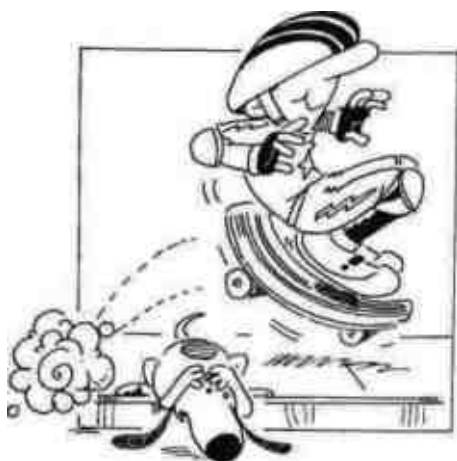
Un ollie es un salto por el aire sin perder el monopatín. Realmente parece como si el monopatín siguiera los pies, como en un truco mágico de levitación, y un buen artista del monopatín lo hace tan rápido que no se ve cómo lo hace. Depende del

hecho de que un monopatín no es simplemente una tabla plana sobre ruedas: tiene una cola doblada hacia arriba en la parte trasera, y ése es el secreto para lanzarlo hacia arriba.



NO Haga la prueba

Aprender a hacer trucos con el monopatín requiere mucha práctica, por no decir antisépticos, vendas y yeso. La siguiente descripción puede parecer lógica, pero no pretende ser una lección.



He aquí cómo un patinador hace un ollie.

Al acercarse a un obstáculo que quiere saltar, el patinador coloca un pie en el centro del monopatín y el otro en la punta de la cola. Entonces golpea con fuerza en la cola con su pie trasero, lo que hace que la cola toque contra el suelo y la parte delantera (el morro) se levante como el lado opuesto de un balancín. Simultáneamente, y aquí la sincronización es crítica, salta hacia arriba, con la suficiente altura como para evitar el obstáculo. Al elevarse por el aire, el morro del monopatín seguirá hacia arriba pegándose al pie delantero del patinador, con el impulso que le dio el golpe en la cola. El patinador deslizará su pie delantero hacia delante para que el morro se ponga al nivel de la cola. En ese momento estará en el aire sobre un monopatín horizontal, avanzando con el suficiente impulso hacia delante como para sobrepasar el final del obstáculo (lo que requiere, por supuesto, que el patinador avance con la suficiente velocidad hacia delante cuando empieza el salto). Finalmente, cuando la gravedad comienza a vencer, él y el monopatín caen juntos, con sus pies todavía en contacto con la tabla.

Lo más importante que el patinador debe tener en cuenta es que no puede saltar más alto de lo que saltaría quieto y recto hacia arriba. El movimiento vertical que consigue es totalmente independiente de cualquier movimiento hacia delante, porque la gravedad ni conoce ni le importa ningún movimiento paralelo a la superficie de la Tierra; sólo le importa lo lejos que el patinador está del centro de la Tierra y si puede tirar de él hacia el centro.

De modo que si un patinador quiere saltar sobre una mesa de picnic, primero debe asegurarse de que puede saltar recto hacia arriba sobre la mesa antes de intentarlo con el monopatín bajo sus pies. Y el monopatín se añade a la altura que tiene que saltar para que pueda pasar sobre la mesa con él.

Note que el patinador y su monopatín recibieron sus energías de salto hacia arriba de dos fuentes distintas: él, del salto propulsado por sus piernas, y el monopatín, del golpe de cola que él le dio, que lanzó el morro hacia arriba. (De hecho, incluso sin

nadie sobre él, un monopatín en el suelo saltaría por el aire si se le golpeará sobre su cola.) No hay nada mágico, entonces, en el hecho de que el monopatín y el patinador suban juntos, a pesar de que no estén unidos entre sí. Un experto del ollie no deja que asome ni una pizca de luz entre sus pies y la tabla, de modo que realmente parece como si estuvieran pegados.



Haga la prueba

Para ver cómo un monopatín volaría hacia arriba si se le golpeará la cola, coloque una cuchara sobre la mesa, con la parte hueca hacia arriba. El extremo redondeado y doblado hacia arriba de la cuchara es como la cola doblada hacia arriba del monopatín. Ahora golpee el extremo de la cuchara con un dedo, igual que un patinador golpearía la cola de su monopatín. La cuchara saldrá volando hacia arriba, con el mango por delante, dando vueltas sobre sí misma. Si fuera un monopatín, el pie del patinador estaría presionando el extremo del mango, moviendo el impulso hacia el extremo redondeado, que entonces se elevaría al nivel del mango.

En cuanto alguien domina el ollie y sale del hospital, puede usarlo como la base de muchos otros trucos de patinador, todos ellos relacionados con flotar por el aire. ¿Qué trucos? ¿Qué tal un nollie, grind, heelflip, kíkflip, ollieflip, pop shov-it, shov-it kick flip, casper, melloncollie, McTwist, taillide, wheelslide, lipslide, indygrab o wallridel Muchos de estos trucos no se realizan en la calle, sino en un skatepark con pendientes artificiales, muros y toboganes, en los que tienen lugar las competiciones. Yo me quedo con el golf.



Pop!

¿Por qué se sale el champán desparramándose por todas partes cuando abro la botella? Es muy caro y odio desperdiciarlo.

¿Quiere decir que realmente desea beberlo? A juzgar por lo que se ve en televisión, pensaría que la función principal del champán en la cultura americana es la de regar a los ganadores de la Super Bowl en los vestuarios. Los niños algo más pequeños hacen lo mismo con los refrescos gaseosos, asegurándose de sacudir la botella bien antes de apartar un poco el pulgar del agujero de la botella y apuntar...; bueno, ya sabe el resto. (¡NO PRUEBE ESTO EN CASA!)

Si yo dijera que al sacudir una botella de champán, cerveza o refresco, se aumenta la presión del gas de su interior, 99 de cada 100 personas, incluso químicos y físicos, estarían de acuerdo. Pero no es cierto. Cuando se sacude una botella cerrada o una lata de alguna bebida carbónica, la presión en su interior no cambia.

Ciertamente parece como si la presión aumenta al sacudir el recipiente, y es fácil imaginarse teorías pretenciosas de por qué eso debe ser así. Pero no pienso enturbiar las aguas citando esas teorías en este libro, porque todas han resultado ser papel mojado.

Entonces, ¿por qué sale el líquido disparado con tanta fuerza al abrir una botella sacudida? Es sólo porque al sacudirla, facilita que el gas se escape del líquido, y en su afán por salir en cuanto se abre la botella, transporta algo de líquido consigo.

Fueron dos químicos llamados David W. Deamer y Benjamin K. Selinger de la Australian National University de Canberra los que en 1988 zanjaron la cuestión de la forma más simple posible: midieron la presión del gas en el interior de una botella de un refresco gaseoso antes y después de sacudirla. Adaptaron un medidor estándar de presión, no demasiado distinto de los usados para inflar ruedas, a fin de que pudiera ser enroscado sobre el cuello de una botella de refresco.

Sus resultados (que hubieran sido los mismos si hubieran sido esnobs y hubieran usado champán): si una botella sin abrir ha permanecido quieta a temperatura ambiente durante un día y a continuación es sacudida, la presión del gas dióxido de carbono del espacio que hay encima del líquido no cambia.

La razón es que la presión del gas se determina sólo por dos cosas: a) la temperatura y b) qué cantidad de dióxido de carbono puede disolverse en el líquido a esa temperatura (en jerga técnica, la solubilidad del gas en el líquido). Sólo hay una determinada cantidad de dióxido de carbono en la botella; parte de él se disuelve en el líquido y parte de él está flotando por encima del líquido. Cuando una botella de refresco sin abrir ha permanecido a la misma temperatura durante un tiempo determinado, la cantidad de gas disuelto en el líquido y, más importante, la cantidad de gas que no se ha disuelto en el líquido, se equilibran en las proporciones adecuadas a esa temperatura concreta. (Enjerga técnica, el sistema llega a un punto de equilibrio.) No puede cambiar esas proporciones, a no ser que cambie la temperatura o añada más dióxido de carbono.

(Si coloca la botella en la nevera durante unas veinticuatro horas, más gas se

disolverá en el líquido, porque los gases se disuelven mejor en líquidos más fríos. Habrá entonces menos gas en el hueco que hay entre el líquido y el cuello de la botella, y la presión será menor. Por eso obtiene menos explosión de gas al abrir una botella fría que al abrir una templada.)

La cuestión es que con sólo sacudir una botella no se puede cambiar la presión del gas, porque no cambia la temperatura o la cantidad de fuerza o energía que hay en el interior de la botella. Así que no tenga miedo de que los movimientos bruscos sobre su cerveza, refresco o champán, en su camino hasta casa desde la tienda, vayan a hacer explotar las botellas. Pero, por otra parte, asegúrese de que las botellas no se calienten en el maletero de su coche, porque el aumento de temperatura sí que incrementará la presión del gas.

Ahora podemos echar un vistazo más educado a lo que causa la emisión explosiva al abrir una botella recientemente sacudida. Está causada por un aumento de la cantidad de gas que es liberado, no por ser calentado, sino por la «extracción» mecánica de parte del dióxido de carbono del líquido al abrir la botella.

He aquí cómo ocurre esto.

En primer lugar, un puñado de moléculas de dióxido de carbono disueltas no pueden decidir juntarse así como así en algún lugar y formar una burbuja. Necesitan algo sobre lo que reunirse: una mota de polvo microscópica o incluso una irregularidad microscópica sobre la superficie del contenedor. Esos puntos de reunión reciben el nombre de lugares de nucleación, porque sirven de núcleo de las burbujas. En cuanto una pequeña banda de moléculas de dióxido de carbono se ha reunido en un lugar de nucleación y ha formado el principio de una burbuja, es más fácil que se reúnan más moléculas de dióxido de carbono, y la burbuja aumenta de tamaño. Cuanto más grande se vuelve la burbuja, más fácil es que aún más moléculas la encuentren, y, además, crece más deprisa.

Cuando usted sacude una botella cerrada de refresco, está creando millones de burbujas diminutas a partir del gas que hay entre el líquido y la botella, el cual se ve atrapado en el líquido. Allí, sirven de millones de lugares de nucleación sobre los cuales millones de burbujas nuevas pueden crecer. Si a continuación la botella se deja reposar durante largo tiempo, las nuevas burbujas bebé serán reabsorbidas y todo el contenido volverá a la normalidad, en cuyas condiciones deja de ser una amenaza.

Pero esos nuevos lugares de nucleación y sus burbujas recién incubadas no desaparecen muy rápido; permanecen durante un tiempo en una botella recién sacudida, esperando a que algún alma inocente pase y la abra. Cuando lo hace, y la presión del espacio entre el líquido y el tapón cae repentinamente a la presión atmosférica, los millones de burbujas bebé son libres para crecer, y cuanto más grandes se vuelven más rápido crecen. El gran volumen de gas soltado emerge abruptamente en forma de gas a chorro que transporta líquido fuera de la botella.



Apuesta de bar

Sacudir una botella o lata de cerveza o refresco gaseoso no aumenta la presión de su interior.

Oh, ¿el champán? Tres cuartos de lo mismo. La mejor forma de controlarlo es dejar reposar la botella en la nevera durante el tiempo suficiente para que llegue al equilibrio: al menos veinticuatro horas. Entonces tenga cuidado de no calentar o agitar la botella antes de abrirla. Después de sacar el alambre del corcho, levante el tapón hacia arriba con sus pulgares. Todo el champán se quedará en la botella y el corcho no se volverá un misil letal.

La coca-cola light es más ligera

Mi amigo afirma que puede diferenciar una lata de coca-cola light de otra de coca-cola normal sin abrirlas ni leer las etiquetas. ¿Puede?

Probablemente. No es difícil, y también funciona con la Pepsi. Se basa en el hecho de que una lata de la bebida sin azúcar es un poco más ligera que una de bebida normal. La coca-cola normal está endulzada con azúcar (sacarosa) o endulzantes de maíz, que son otros azúcares, normalmente fructosa, maltosa y/o glucosa. La coca-cola light, por otra parte, está endulzada con aspartame, un endulzante artificial. Gramo por gramo, el aspartame es de 150 a 200 veces más dulce que la sacarosa, de modo que sólo se necesita una diminuta cantidad para producir la misma dulzura que en el producto azucarado. Mientras que la cantidad de azúcar de la bebida normal es de un 2 o 3%, sólo hay unos pocas centésimas de 1% de aspartame en la bebida dietética. Por lo tanto, una lata de la bebida dietética es un poco más ligera.

Su amigo no puede notar la diferencia con sólo sopesar las dos latas. Pero si llena un lavadero con agua y coloca las latas sin abrir en él, la lata light flotará más alto en el agua que la normal, que puede que incluso se hunda.



Apuesta de bar

Puedo distinguir entre una lata de coca-cola light de una normal sin abrirlas ni leer sus etiquetas.

El poder de la fruta

En un catálogo de novedades he visto un «reloj accionado por fruta». Se pinchan dos cables en una naranja o un limón, y esto hace funcionar un pequeño reloj digital a partir de la «energía natural de una fruta o vegetal fresco». ¿Dónde está el truco?

La «energía natural» es una de las frases favoritas de los vendedores ambulantes y chiflados que tratan de vender desde curas para la artritis hasta comunicación con los muertos. Parece que existe esta idea de que la «energía natural» está en todas partes, para ser extraída del aire con baratijas mágicas como pulseras de cobre (para la artritis), o con esos amuletos de cristal que se llevan en el cuello o en el bolsillo para ahuyentar lo que sociedades supuestamente menos sofisticadas llaman «espíritus malignos». Si una cualquiera de esas cosas suministrase una milésima de la energía de la que sus vendedores gastan en pregonarlas, ya no tendríamos que quemar carbón o petróleo.

En lo que respecta a las frutas y vegetales, su única «energía natural» está en forma de las calorías que se obtienen al comerlas: la energía que se obtiene cuando se metaboliza, o «quema», la comida, igual que se puede liberar energía al quemar un pedazo de carbón. Comer carbón, en cambio, no funciona porque nuestros cuerpos no tienen el mecanismo para digerirlo y metabolizarlo, es decir, para extraer su energía química.

Las naranjas y los limones contienen sólo un poco de energía, como puede adivinarse a partir del hecho de que no arden al quemarlos (excepto los aceites de la corteza). Incluso si pudiera convertir toda su energía nutricional en electricidad en lugar de en energía muscular, las quince calorías de un limón mantendrían una luz nocturna de 7,5 vatios encendida durante sólo un par de horas.

Aparte de esto, la única forma de obtener energía útil de un limón sería lanzándolo desde lo alto de un edificio.

¿Funciona realmente el reloj de frutas? Asombrosamente, sí. Funcionará durante semanas o meses con sus cables pinchados en una fruta o vegetal (prácticamente cualquier fruta o vegetal). Los relojes «accionados por patatas» son bastante populares, presumiblemente porque no hay nada tan tonto y amuermado como una patata, y obtener energía de ella atrae el sentido del ridículo de la gente. He aquí cómo funciona el reloj vegetal. Los cables que se pinchan en la fruta están hechos de dos metales diferentes, normalmente cobre y zinc. Junto con los jugos de la fruta, estos dos metales crean una genuina batería eléctrica (más correctamente llamada una célula voltaica, pero la denominaremos igual que todo el mundo). Todo lo que hace

falta para formar una batería son dos metales diferentes con algún tipo de líquido conductor de electricidad en medio de ellos.

Ya sabe que una corriente eléctrica es un flujo de electrones que se mueven de un lugar a otro: a través de un cable, de una bombilla, de un motor o, en este caso, de un reloj digital electrónico. La cuestión es: ¿cómo se atraen a los electrones para que se muevan de un lugar a otro a fin de que puedan hacer funcionar un reloj ?

Una batería induce a los electrones a moverse porque contiene dos tipos diferentes de átomos que se aferran a sus electrones con distintos niveles de fuerza. Por ejemplo, los átomos de cobre abrazan sus electrones con más fuerza que los de zinc. Así que si les da la oportunidad a los electrones del zinc, abandonarán su hogar y migrarán al cobre, donde se sienten más queridos.

Los humanos, listos como somos, ofrecemos a los electrones una sola ruta desde el zinc hasta el cobre: a través de nuestro reloj digital. Si quieren llegar al cobre, simplemente tendrán que atravesar el reloj, haciéndolo funcionar al pasar a través de sus circuitos.

Entonces ¿por qué son necesarios la fruta o el vegetal? El jugo que hay en el interior es lo que los químicos llaman electrolito: un líquido que conduce la electricidad. Completa el circuito de los electrones, restaurándolos al zinc, que de otro modo quedaría tan escaso de electrones que todo el proceso se detendrían.

¿De dónde viene realmente la «energía natural» ? Es inherente a la constitución de los átomos de zinc y cobre: a la diferencia natural de su capacidad para mantener los electrones.

Una batería es tan fácil de construir que al menos una puede haber sido construida por los partianos, un pueblo que vivió hace 2.000 años en lo que ahora es Irak. En 1938, un arqueólogo alemán describió una pequeña jarra de barro de ese período, en el Museo Nacional de Bagdad. La jarra contenía una vara de hierro en el interior de un cilindro de cobre; sólo hacía falta llenar la jarra con zumo de frutas (o vino) a fin de que tuviera suficiente potencia como para hacer funcionar un antiguo reloj digital de pulsera partiano.

De acuerdo, nadie sabe realmente para qué se usaba.

Si realmente era una batería.

Si no era una patraña.

Si...



No lo ha preguntado, pero...

¿Por qué necesita dos patatas el «reloj de dos patatas»?

Por la misma razón que su linterna necesita dos baterías.

Un juego de metales de zinc y cobre moverá los electrones sólo con cierta fuerza. Eso es así porque sólo hay cierta cantidad de diferencia entre la fuerza de aguante de electrones del zinc y del cobre. Pero si necesita más fuerza para mover electrones, para encender una bombilla, por ejemplo, puede conectar un segundo juego de metales de zinc y cobre detrás del primero, dando el doble de empuje a los electrones.

La palabra técnica para el empuje de electrones es voltaje: la fuerza con la que los electrones son obligados a moverse. La combinación de zinc y cobre produce alrededor de 1 voltio de empuje. Si un determinado reloj necesita 2 voltios para funcionar, serán imprescindibles dos baterías de patata conectadas entre sí.

No hay alarmas de incendios en el Infierno

Mientras cambiaba la batería de mi alarma de incendios decidí leer la letra pequeña de la etiqueta. Dice que contiene material radiactivo: americio-241. ¿Qué tiene que ver la radiactividad con la detección de humos?

Lo que tiene es un detector de humos de ionización. Detecta humo a partir del hecho de que el humo interfiere en la capacidad del aire de conducir una diminuta corriente eléctrica. En condiciones ordinarias, el aire no conduce electricidad en absoluto; es un aislante excelente. Esto es así porque las moléculas de nitrógeno y oxígeno del aire no tienen una carga eléctrica propia, ni contienen electrones sueltos que pudieran transportar carga de un lugar a otro, como lo hacen los metales. Si ése no fuera el caso, la electricidad de esos cables de alta tensión correría a través del aire hasta el suelo, pasando a través de cualquier cosa, incluidos nosotros mismos, en su camino.

Las moléculas de aire (nitrógeno, oxígeno y unas pocas otras) no tienen ninguna carga eléctrica neta porque los átomos con los que está hecho contienen el mismo número de cargas positivas y negativas que se cancelan entre sí. Las cargas positivas residen en los núcleos de los átomos y las negativas están en forma de electrones que giran alrededor de los núcleos. Pero la radiactividad puede convertir el aire en un conductor eléctrico al echar electrones fuera de sus moléculas, dejándolas con cierta carga neta positiva. Estas moléculas cargadas reciben el nombre de iones, y decimos que la radiactividad ha ionizado el aire. Puesto que el aire ionizado contiene moléculas cargadas eléctricamente, conducirá electricidad.

¿Cómo ioniza el aire la radiactividad? Los núcleos de los átomos radiactivos son

inestables, y se desintegran espontáneamente lanzando algunas partículas de las que están hechos a velocidades cercanas a la de la luz. Los núcleos de americio-241 escogen lanzar partículas alfa, que comparadas con otras partículas radiactivas son bastante grandes. Una fornida partícula alfa puede causar muchos estragos en el átomo contra el que golpee, de modo que ioniza muy bien las moléculas de aire.

Una pequeña cantidad de americio-241 viene incluida en su detector de humos y sus partículas alfa mantienen la pequeña región de aire que lo rodea continuamente ionizada. La batería proporciona una corriente eléctrica muy pequeña que fluye a través de ese aire. Pero cuando algunas partículas de humo se introducen en ese aire, los iones pueden colisionar con ellas y perder su carga. Menos carga en el aire significa que puede circular menos corriente. Un circuito detecta esta caída de corriente y dispara una alarma que perfora los oídos.

La cantidad de americio-241 radiactivo en una alarma de humos es extremadamente pequeña: por lo general, nueve décimas de un microcurio, que corresponde a un cuarto de microgramo. Aunque ese cuarto de microgramo emita más de 30.000 partículas alfa cada segundo, no hay nada de qué preocuparse, porque las partículas alfa son tan ineficaces en penetrar la materia que pueden ser paradas con una hoja de papel. Ninguna radiación de partículas alfa se escapa fuera de la caja de la alarma.



El rincón del quisquilloso

Siempre que un átomo de americio-241 (o cualquier otro material radiactivo) se desintegra, ya no es el mismo tipo de átomo y no tiene las mismas propiedades radiactivas, De modo que con el paso del tiempo los átomos radiactivos restantes disminuyen en número y también, por lo tanto, disminuye la cantidad de radiación que emiten. En el caso del americio-241, su número de átomos desciende a la mitad cada 433 años. (En jerga técnica, su vida media es de 433 años.) Así que dentro de 433 años, el americio-241 de su detector de humos sólo estará emitiendo unas 15.000 partículas alfa por segundo. Pero todavía no lo tire a la basura, porque dentro de otros 433 años seguirá funcionando bastante bien emitiendo sólo 7.500 partículas alfa por segundo, Le recomiendo reemplazarlo al cabo de 433 años después de ese momento, sin embargo, porque por el año 3300 la corriente eléctrica estará volviéndose bastante débil y la alarma podría dispararse incluso sin humo. Y esas alarmas, como ya sabe, pueden hacer el suficiente ruido como para despertar a los muertos.

Por supuesto, si para entonces está donde me imagino que estará, no se permitirán las alarmas de humos actuales porque se dispararían continuamente.

Bombas fértiles

Leí en el periódico que unos terroristas usaron un fertilizante químico como explosivo. ¿Cómo puede un producto químico tener usos tan opuestos?

Es una de esas coincidencias que no son realmente accidentales en cuanto uno investiga un poco más. Como veremos, las propiedades beneficiosas y malélicas del fertilizante se originan ambas del hecho de que el gas nitrógeno está compuesto de moléculas que resisten con fuerza ser separadas.

Primero, el papel del fertilizante.

Todo jardinero sabe que el nitrógeno es uno de los tres elementos principales que proporcionan los fertilizantes, junto con el fósforo y el potasio. El nitrógeno es extremadamente abundante; forma alrededor del 78% del aire que respiramos. Sus moléculas constan de pares de átomos de nitrógeno que forman moléculas de dos átomos, que los químicos simbolizan como N₂.

Esos dos átomos de nitrógeno están ligados tan fuertemente que las plantas no pueden separarlos para conseguir su ración de nitrógeno. Necesitan la ayuda del rayo, que sin duda tiene la suficiente potencia como para conseguirlo al romper el aire. También hay ciertas bacterias y algas que son capaces de separar las moléculas de nitrógeno, pero no nos han dicho exactamente cómo lo hacen.

Nosotros los humanos debemos recurrir a nuestra potente tecnología química para convertir esas moléculas de nitrógeno en formas más utilizables para las plantas, como compuestos de amoníaco o nitrato. El fertilizante de nitrato de amonio contiene átomos de nitrógeno en ambas formas, lo que lo hace ser doblemente potente.

¿Qué pasaría si los dos átomos separados de nitrógeno del nitrato de amonio tuvieran la oportunidad de emparejarse de nuevo en fuertes moléculas de gas nitrógeno? Aprovecharían esa oportunidad ansiosamente. Al fin y al cabo, si los átomos de nitrógeno se quieren tanto que al ser emparejados resisten con fuerza el ser separados, ¿no querrían romper el nitrato de amonio para restablecer sus fuertes uniones y volver a ser gas nitrógeno? Lo harían con tal ansia que literalmente explotarían fuera del nitrato de amonio para reunirse entre sí y volar en gozosa libertad gaseosa.

Acabo de describir una explosión: lo que ocurre cada vez que un sólido se convierte en un gas de forma muy repentina. La onda de gases expulsados, que se expanden rápidamente debido al calor que también es eliminado, es la presión que provoca todos los desperfectos.

En el caso del nitrato de amonio, que contiene átomos de oxígeno e hidrógeno además de nitrógeno, no son sólo los átomos de nitrógeno los que se combinan de

repente en fuertes moléculas de gas. Las moléculas de oxígeno y agua están casi tan fuertemente juntas como las de nitrógeno, de modo que los átomos de oxígeno se emparejan en forma de oxígeno gaseoso (O_2), mientras que los átomos de hidrógeno y oxígeno se unen para formar vapor de agua (H_2O). Si se le da la oportunidad, entonces, el nitrato de amonio sólido se separará repentinamente y se convertirá en un enorme volumen de gases: nitrógeno, oxígeno y vapor de agua.

Todo lo que se necesita para que el nitrato de amonio se descomponga violentamente de esta manera es calor: el suficiente como para alcanzar una temperatura de al menos 300 grados Celsius. Incluso a temperaturas tan bajas como 170 grados Celsius, el nitrato de amonio puede explotar, convirtiéndose algo menos violentamente en gas de óxido nitroso y vapor de agua.

Mantenga su pólvora seca, por supuesto. Pero mantenga también su fertilizante fresco.

El papel de aluminio

¿Por qué una cara del papel de aluminio brilla más que la otra?

Es debido a un mecanismo de ahorro de espacio y tiempo que se usa en la etapa final del proceso de fabricación.

El aluminio, como todos los metales, es maleable; es decir, se aplastará si se le aplica la suficiente presión. Esto es distinto de muchos otros sólidos, que se rompen al ser sometidos a presión. De modo que los metales pueden ser enrollados en láminas muy delgadas.

Los metales son maleables porque sus átomos se mantienen juntos mediante un mar móvil de electrones compartidos, en lugar de estar unidos por fuerzas rígidas entre los electrones de un átomo y los del siguiente, como ocurre con la mayoría del resto de sólidos. En efecto, entonces, no importa mucho dónde están los átomos de un metal respecto al resto, y, por lo tanto, quedan libres y pueden ser empujados por el mar de electrones.

En la fábrica de papel de aluminio enrollan láminas de juntando progresivamente, lo que aplasta el aluminio en láminas progresivamente más finas. El papel de aluminio que usamos en nuestras casas mide menos de dos centésimas de milímetro de grosor.

Para ahorrar espacio en el enrollado final, alimentan dos láminas a la vez a través de los rodillos. Las superficies superior e inferior están en contacto con los rodillos de acero pulido y salen lisas y brillantes. Pero las superficies interiores de este sandwich son prensadas entre sí, aluminio contra aluminio. Puesto que el aluminio es mucho

más blando que el acero, esas superficies se aplastan un poco entre sí, dejando una superficie más rugosa y apagada cuando son separadas. No importa por qué lado vaya a usar el papel de aluminio, ya que los dos tienen la misma calidad.

Y por cierto, espero que no sea una de esas personas que lo llaman «papel de plata». Un papel es una lámina muy delgada, y el papel de aluminio está hecho de (¡sorpresa!) aluminio, y no de plata.

¡Arriad los estropajos!

Navegando en la barca de un amigo, no quise gastar agua potable, de modo que intenté lavar mi camisa en el agua salada. Pero no pude obtener espuma en absoluto. ¿Por qué el jabón no funciona en el agua salada?

Es una de las pequeñas ironías de la vida: los marineros realizan trabajos duros y a menudo sucios, y a pesar de toda el agua que los rodea no pueden bañarse o lavar sus ropas con jabón. No con jabón ordinario, al menos. Hay un jabón especial, llamado jabón de marinero que funciona en el agua salada. Pero primero veamos por qué el jabón normal no funciona.

No le sorprenderá saber que el agua marina contiene un montón de sal: cloruro sódico. Promediando todos los océanos del mundo, cada litro de agua marina contiene más de 10 gramos de cloruro sódico (media cucharada sopera). Es el sodio el que fastidia el jabón, porque el jabón debe disolverse en el agua para poder realizar su trabajo, y no puede disolverse bien en agua que contenga demasiado sodio.

Las moléculas de jabón están compuestas de átomos de sodio unidos a largas colas de lo que se conoce como ácidos grasos. El jabón funciona a base de que su cola grasa se agarra a las partículas aceitosas o grasosas de la suciedad, mientras el extremo de sodio lo arrastra hacia el agua. Pero si ya hay demasiados átomos de sodio en el agua, la entrada de aún más sodio en la forma de moléculas de jabón es inhibida. (En jerga técnica, los químicos se refieren a esta situación como el efecto del ion común, porque los átomos de sodio, que son comunes a la sal y al jabón, están presentes como iones, o átomos cargados eléctricamente.)

Esto significa que un jabón que contenga sodio no se disolverá lo suficiente en agua salada como para realizar su tarea de arrastrar grasas pegajosas fuera del marinero y hacia el agua, donde pueden ser enjuagadas.

Pero los jabones no tienen por qué estar hechos con sodio. El potasio es un producto químico que es pariente cercano del sodio, y también puede combinarse con

largas colas de ácidos grasos para formar moléculas de jabón. En comparación con el sodio, hay muy poco potasio en el agua marina, de modo que los jabones de potasio pueden disolverse. Los llamados jabones de marinero son jabones basados en potasio.

Polvo al polvo

La limpieza del hogar es una historia interminable de sacar el polvo, una y otra vez. Si dejase de sacar polvo, ¿a la larga se llenaría mi casa de polvo hasta el techo?

¿Cree que tiene problemas? En China hay acumulaciones de polvo de dos millones de años de antigüedad (llamadas loess por los geólogos) que tienen más de 300 metros de grosor. Pero no son debidas a una limpieza descuidada. El polvo ha sido soplado por vientos del desierto de Gobi. En ciertos lugares donde los vientos amainan, liberan sus cargas de partículas de polvo. Los enormes montones resultantes se comprimen por su propio peso a lo largo de los años, y algunos de ellos han sido agujereados para construir casas en cuevas.

Pero no tema: al ritmo al que el polvo se ha acumulado en las colinas chinas de loess, podría dejar de sacar el polvo de su casa durante cien años y todavía tendría una capa de menos de dos centímetros de grosor.

A no ser que viva cerca del desierto de Gobi, puede que se esté preguntando de dónde viene todo ese polvo que hay en su casa.

El polvo de nuestra atmósfera tiene muchos orígenes. Los vientos mueven tierra seca, como los campos cultivados, carreteras sucias y desiertos. Las plantas liberan polen y otras materias en forma de partículas. Los incendios forestales y los volcanes pueden liberar polvo y partículas de humo a lo alto de la atmósfera, donde pueden ser movidos por los vientos durante años antes de sedimentarse. Hay menos polvo sobre los océanos que sobre la tierra, pero de todas formas hay diminutas partículas de sal seca e incluso partículas de cenizas que caen de los meteoritos que arden en la atmósfera.

Y estará pensando que todo acaba por depositarse sobre sus estanterías, ¿verdad? Bueno, todavía no hemos terminado. Miremos de cerca el polvo de su casa que genera usted mismo.

Note que el polvo se deposita sólo sobre superficies horizontales, como los marcos de las puertas, las estanterías y la parte superior de los marcos de los cuadros (se olvidaba de éstos, ¿no?). Por lo tanto, el polvo debe estar cayendo desde el aire bajo la influencia de la gravedad. Esto significa que las partículas de polvo tienen que ser mayores que un determinado tamaño; si fueran más pequeñas, el movimiento

constante y agitado de las moléculas de aire las mantendría en suspensión permanente. Ese es el caso del humo de los cigarrillos, por ejemplo: las partículas individuales son tan pequeñas que el bombardeo de las moléculas de aire evita que se caigan. Por otra parte, si las partículas de polvo fueran demasiado grandes no hubieran flotado sobre el aire al principio, para luego ir a descansar sobre esa horrible figura de porcelana que le regaló su tía Sofía.

Pero no todo es cuestión de tamaño. Un mechón relativamente grande de pelusa de su ropa flotará por el aire debido a su forma similar a una pluma, y también tarde o temprano encontrará una pista de aterrizaje en algún lugar en donde preferiría no verlo. Esas bolas de polvo que se refugian en el clima sin viento bajo su cama están compuestas principalmente de fibras de la ropa y otros tejidos, a menudo enredados junto con pelos humanos o de mascotas, junto con copos de piel (nunca dije que sería bonito).

Todo lo que se mueve en el interior de su casa tiene el potencial de liberar partículas microscópicas por efecto de desgaste, que serán transportadas por el aire. Cuando un área de mucho tráfico de su alfombra se desgasta, ¿dónde cree que fueron todas esas fibras? Mota a mota, acabaron desperdigadas por la casa, esperando a ser atendidas el día de la limpieza.

Lo que nos lleva a preguntarnos lo efectivo que es realmente sacar el polvo. Depende mucho de cómo lo haga. Un paño seco puede simplemente redistribuir el polvo, moviéndolo quizá de la estantería al suelo, demostrando que «el polvo vuelve al polvo», en el sentido literal y no en el bíblico. Frotar con un paño seco puede llegar a ser contraproducente, porque puede producir una carga electrostática sobre las partículas de polvo. Una vez cargadas, se pueden adherir tenazmente a cualquier objeto cercano, de modo que simplemente habrán sido transferidas de un objeto a otro.

Un quitapolvos con un extremo plumoso que atrapa el polvo es una buena idea. Otra es usar uno de esos vaporizadores comerciales para el polvo. Contienen un aceite que no sólo hace que las partículas de polvo se adhieran al paño, sino que las recubre con una delgada capa aislante de modo que no se pueden adherir electrostáticamente a objetos cercanos.

Para tener un atisbo de cuánto polvo hay realmente en el aire, mire al rayo de luz que viene del proyector la próxima vez que vaya al cine. La razón por la que puede ver el rayo es porque la luz está siendo dispersada lateralmente por partículas invisibles de polvo que tienen aproximadamente el mismo tamaño que la longitud de onda de la luz.

¿Ir o no ir? Esa es la cuestión

Puede que sea una pregunta estúpida, pero ¿qué hace que las cosas ocurran o no ocurran? Quiero decir, el agua fluye cuesta abajo, pero no cuesta arriba. El azúcar se disuelve en el café, pero si pongo demasiado no puedo «desdisolverlo». Puedo hacer arder una cerilla, pero no puedo «desquemarla». ¿Hay alguna regla cósmica que determine qué puede ocurrir y qué no?(5)

No existe ninguna pregunta estúpida. Ha formulado la que es quizá la pregunta más profunda de toda la ciencia. De todas formas, tiene una respuesta bastante simple desde que un genio llamado Josiah Willard Gibbs (1839-1903) la contestó a finales del siglo xix.

La respuesta es que en todas partes de la naturaleza hay un equilibrio entre dos cualidades fundamentales: energía, de la que probablemente ya sabe algo, y entropía, que probablemente no conoce (pero pronto conocerá). Es sólo este equilibrio el que determina si algo puede ocurrir o no.

Ciertos procesos físicos y químicos pueden suceder por sí solos, pero no pueden ocurrir en sentido contrario a no ser que reciban ayuda del exterior. Por ejemplo, podemos hacer que el agua vaya cuesta arriba transportándola o bombeándola hacia arriba. Y si realmente quisiéramos, podríamos extraer ese azúcar del café evaporando el agua y a continuación separando químicamente el azúcar de los sólidos del café. «Desquemar» una cerilla es un poco más complicado, pero con el tiempo y el equipamiento necesario, un pequeño ejército de químicos probablemente podría reconstruir la cerilla a partir de todas las cenizas, humo y gases.

La cuestión es que en cada uno de esos casos se requiere una proporción importante de intervención: energía externa. Dejada por completo a sí misma, la madre naturaleza permite que ocurran muchas cosas espontáneamente, por sí mismas. Pero otras cosas nunca sucederán espontáneamente, incluso si esperamos, sin entrometernos, hasta el día del Juicio Final. El fondo de la cuestión de la naturaleza es que si el equilibrio entre energía y entropía es el adecuado, sucederá; si no lo es, no sucederá.

Tomemos primero la energía. Luego explicaremos la entropía.

En general, todo intentará disminuir su energía si puede. En una cascada, el agua se deshace de su energía gravitatoria al caer. (Podemos hacer que esa energía liberada accione un molino de agua, si queremos.) Pero una vez el agua llega al final de la cascada, está «desprovista de energía», al menos en términos gravitatorios; no puede volver arriba por sí sola.

Muchas reacciones químicas ocurren por una razón similar: los productos químicos se están deshaciendo de su energía química almacenada al transformarse

espontáneamente en productos químicos diferentes que tienen menos energía química. (La cerilla que arde es un ejemplo.) Pero no pueden volver a sus condiciones originales de energía por sí solos.

De este modo, y si el entorno no interviene, la inclinación de la naturaleza es la de que todo bajará su energía si puede. Esa es la regla número uno.

Pero disminuir la energía es sólo la mitad de la historia que hace que las cosas ocurran. La otra mitad es aumentar la entropía. La entropía es simplemente una forma fina de decir desorden, o la caótica e irregular disposición de las cosas. En el fútbol americano, en el momento del saque todos los jugadores están dispuestos en fila de forma ordenada: no están desordenados, y, por lo tanto, tienen baja entropía. Después de la jugada, en cambio, pueden estar dispersos por todo el campo de una forma muy desordenada y de mayor entropía. Lo mismo ocurre con las partículas individuales que forman todas las sustancias: los átomos y las moléculas. En un momento dado pueden estar bien en disposición ordenada, bien en un amasijo desordenado, o bien en cualquier disposición intermedia. Es decir, pueden tener diferentes niveles de entropía, de menor a mayor.

Si todo lo demás (a saber, la energía) permanece constante, la inclinación de la naturaleza es la de que todo tiende a volverse más y más desordenado, es decir, todo aumentará su entropía si puede. Esa es la regla número dos. Puede haber un incremento «antinatural» de energía siempre y cuando haya un aumento de entropía que lo compense o supere. O también, puede haber una disminución «antinatural» de entropía siempre y cuando haya una disminución de energía que la compense o supere. ¿Lo capta?

Así que la cuestión de si un suceso puede ocurrir espontáneamente en la naturaleza, sin interferencias del exterior, es puramente una cuestión de equilibrio entre las reglas de energía y entropía.

¿La cascada? Eso ocurre porque hay una gran caída de energía (gravitatoria); casi no hay diferencia de entropía entre las moléculas de agua en lo alto y al final de la cascada. Es un proceso dirigido por la energía.

¿El azúcar en el café? Se disuelve principalmente porque hay un gran incremento en la entropía; las moléculas de azúcar sumergidas en el café están mucho más desordenadas que cuando estaban limpiamente juntas en los cristales de azúcar. Al mismo tiempo, casi no hay diferencia de energía entre azúcar sólido y disuelto. (El café no se calienta o enfría cuando el azúcar se disuelve, ¿verdad?) Es un proceso dirigido por la entropía.

¿La cerilla que arde? Obviamente, hay una gran disminución de energía, un éxodo repentino de energía. La energía química almacenada de la cabeza de la cerilla

se libera como una ráfaga de calor y luz. Pero también hay un gran incremento de entropía; la llama ondulante, el humo y los gases están mucho más desordenados que la compacta cabeza de la cerilla. De modo que esta reacción es doblemente bendecida por las reglas de la naturaleza, siendo dirigida indistintamente por la energía como por la entropía. Por eso avanza con tanto entusiasmo en el instante en que se le proporciona el chasquido inicial.

¿Qué ocurre si tenemos un proceso en el que una de las cantidades, energía o entropía, va en «sentido contrario»? Bien, el proceso todavía puede ocurrir si la otra cantidad va en el «sentido correcto» con la suficiente fuerza como para superarlo. Es decir, la energía puede aumentar siempre y cuando haya un aumento de entropía lo bastante grande como para contrarrestarlo; y la entropía puede disminuir siempre y cuando haya una disminución de energía como para contrarrestarlo.

Lo que hizo J. Willard Gibbs fue ingeniar una ecuación para este equilibrio entre energía y entropía. Si la ecuación de Gibbs muestra que tras contrarrestar cualquier cambio en la entropía en «sentido contrario», todavía queda algo de energía sobrante, esa energía (en jerga técnica, energía libre) puede ser usada para que el suceso ocurra, y el proceso en cuestión tendrá lugar automáticamente. Si, en cambio, la cantidad de energía disponible («libre») no es la adecuada para contrarrestar cualquier cambio de entropía en el «sentido contrario», el proceso no tendrá lugar, y no podrá tener lugar a no ser que se obtenga alguna energía adicional del exterior.

Añadiendo la suficiente energía, entonces, siempre podemos vencer la regla de entropía de la naturaleza por la que todo tiende al desorden.

He aquí un ejemplo: hay unos 10 millones de toneladas, con un valor de 60.000 billones de euros, de oro disuelto distribuido por los océanos de la Tierra, esperando a que lo tomemos. Con el esfuerzo suficiente podríamos recogerlo todo, átomo por átomo. Pero los átomos están dispersos a lo largo de 1.400 millones de kilómetros cúbicos de océano en una disposición del todo caótica que tiene una entropía extraordinariamente alta. La energía que deberíamos gastar para reducir esa entropía al recoger todo el oro en un único lugar costaría mucho más que el valor del oro.

En un arrebato de fervor sobre las leyes de la mecánica Arquímedes (287-212 a. C.) es famoso por haber dicho «Dadme una palanca lo bastante larga y un punto de apoyo, y moveré el mundo». Si hubiera conocido la entropía, hubiera añadido: «Dadme la suficiente energía y pondré este mundo caótico en un orden perfecto».

Notas

(1) El tratado sobre vuelo de aviones que se expone a continuación está basado en el artículo de David Anderson y Scott Eberhardt "How Airplanes Fly: A Physical description of Lift" (en Sport Aviation, Febrero de 1999), que me fue indicado por Richard E. Eckels. (N. del A.)

(5) Esta pregunta es tan fundamental para la forma en que funciona el Universo que estoy repitiendo la respuesta, ligeramente modificada, que di en Lo que Einstein no sabía (Ediciones Robinbook, Ma non troppo, 2002). Todas las demás preguntas y respuestas del presente libro son nuevas.