

DAVID CALLE

¿CUÁNTO PESAN LAS NUBES?

Y OTRAS SENCILLAS PREGUNTAS Y SUS RESPUESTAS CIENTÍFICAS



PLAZA  JANÉS

SÍGUENOS EN
megustaleer



@Ebooks



@megustaleer



@megustaleer

| Penguin
Random House
Grupo Editorial |

*A quienes no dejan nunca de hacerse preguntas.
A Cristina, mi editora, y Sergio, mi punto de apoyo.
Sin su ayuda (y la de quienes de algún modo forman parte de él), este libro ha-
bría sido imposible.*

*A todos los que he encontrado en el camino
y me han enseñado algo.*

*Al 99% de las personas que cito en este libro, porque todas ellas me sirvieron o
sirven de inspiración.*

A todas las que no cito y que sin embargo me quieren, siempre conmigo.

*Y, sobre todo, a «mis unicoos», siempre ahí
protagonistas también en esta aventura.
Sueño con que algún día formaréis parte de la respuesta de millones de pro-
blemas aún sin resolver.*

Soy porque nosotros somos. #somosunicoos

Introducción

He aprendido a disfrutar de un paisaje, una canción. Una película. Un instante al lado de la persona que amo. No voy a cambiarlo. No tengo ni idea de cuántos segundos quedan. Pero van a ser apasionantes.

RÚA LOPEZ MORA,
Exprimiendo segundos

Si la vida en el Universo pudiera resumirse en un año, el ser humano solo lo habría habitado en el último segundo. Para nosotros han significado milenios. Porque el tiempo es relativo, como tantas otras cosas. Si tu vida es larga y próspera, que así sea, vivirás más de dos mil millones de segundos, aunque la tercera parte de ellos los pases durmiendo. El resto, que ya es demasiado tiempo pegado a la almohada, te tocará estar despierto, vivirlos, disfrutarlos. Porque pueden ser apasionantes.

Leer este libro te llevará el 0,0005% de tu vida, entre 7.200 y 14.400 segundos. Quizá los mismos que *Blade Runner 2049* (2017) o la trilogía original de *Star Wars*. Si lo lees en unos años, algunas de las cosas que ahora se tienen por ciertas e incluso inmutables es posible que entonces ya no tengan sentido. Nada permanece, nada es constante. «Lo único constante es el cambio», predijo Heráclito hace 2.500 años.

Es lo maravilloso de la ciencia, que avanza imparable día a día gracias al trabajo incansable, creativo y a veces genial de miles de personas dedicadas a su estudio. Aquellas a las que ojalá, quién sabe si algún día, si estás estudiando, termines sumándote.

«Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo», decía Einstein. Así, en la búsqueda inconformista de respuestas se han construido y forjado las bases del imparable avance tecnológico de nuestra civilización en los últimos siglos, sobre todo en las dos últimas décadas, mientras otras permanecen sin explicación. No había película de ciencia ficción que viera de pequeño de la que no saliera flipando por las escenas de acción y los efectos especiales, pero, sobre todo, de la que no saliera haciéndome alguna pregunta. Y, a día de hoy, me fascina más lo que plantean películas como *Interstellar* (2014) o series como *Black Mirror* que la propia acción en sí. De ahí que sea tan friki, de ahí quizá que terminara haciéndome ingeniero, primero, y profesor de matemáticas y física, después. A algunas de ellas les encontré explicación preguntando a quienes saben más que yo, que son casi infinitos. A otras, en la biblioteca o en internet, depende de la época, que ya tengo una edad. Y a muchas de ellas, sinceramente, por más que lo he intentado, no les he encontrado ninguna; y, si lo he hecho, no he conseguido entenderlas (soy consciente de mis límites, que son casi infinitos: solo soy un profe). Pero siempre aprendo algo por el camino, por poco que sea; eso es lo fascinante, la base para afrontar la siguiente respuesta. O algo chulo que contar a mis alumnos cuando intento ilustrarles algo. No falla.

Por eso, más que ofrecerte cuarenta respuestas a preguntas que quizá alguna vez tú también te has hecho, lo único

que espero es que esto sea para ti simplemente el comienzo de una búsqueda desatada de razones para todo lo que ocurre a tu alrededor, sin conformarte con las respuestas que te den, con nada de lo ya establecido. Ese es mi sueño. Ayudarte de algún modo a inspirarte para que construyas los tuyos, darte alguna idea si eres profe para tus clases o, sencillamente, que te hagas preguntas, todas las que puedas. Y les busques una respuesta sin apelar a los dioses del Olimpo, que siempre aportaban una, mitológica, fascinante, pero nada científica. Aunque suyos sean los nombres de las constelaciones y los planetas.

1

¿Por qué tu vecino de abajo vivirá más que tú?

Mira el reloj: tic, tac, tic, tac, avanzando siempre al mismo ritmo, indiferente, inmutable, con paso militar. Tic, tac, tic, tac. Todos los relojes marchan igual, no importa lo que uno haga, en qué lugar esté o a qué velocidad viaje. Nuestros sentidos nos dicen que vivimos en el Universo que describe la física de Newton, donde las coordenadas espaciales y la coordenada tiempo son independientes las unas de la otra. El tiempo avanza ciego, como si nada más importase, ajeno a todo. Tic, tac, tic, tac...

Pero eso es lo que nos dicen nuestros sentidos, de los que no nos podemos fiar del todo. De hecho, en la realidad en la que indagan los científicos, el tiempo no es algo tan rígido sino algo más moldeable y cambiante. Fue lo que descubrió el genial físico Albert Einstein (el personaje más importante del siglo xx según la revista *Time* y, con su efigie de pelos alborotados y la lengua fuera, icono de la ciencia en el imaginario popular) en su Teoría Especial de la Relatividad enunciada en 1905, el llamado «año milagroso» de Einstein por la cantidad de aportaciones revolucionarias que hizo al conocimiento científico.

Lo que Einstein supo ver es que el transcurso del tiempo varía entre dos personas que viajan a diferentes velocidades. Por ejemplo, si yo estoy quieto y tú te alejas en bicicleta (un

medio de transporte muy del gusto de Einstein), el ritmo del tiempo para ti será más lento. El tiempo pasará más lento para el que viaja en bicicleta; lo llamamos «dilatación temporal». ¿Por qué no lo notamos? Porque este es uno de los llamados «efectos relativistas» (de la relatividad) y solo es apreciable a las «velocidades relativistas», es decir, las cercanas a la velocidad de la luz.

La velocidad de la luz en el vacío (300.000 kilómetros por segundo), que es igual para todas las personas, se muevan como se muevan (pues es absoluta) y un límite del Universo que no se puede superar, es la piedra fundamental sobre la que se apoyan los trabajos de Einstein. A velocidades normales (por ejemplo, cuando viajamos en bicicleta), la diferencia entre mi reloj y el tuyo resulta imperceptible (pero existe).

No obstante, ¿qué pasaría si uno de los dos viajara en una veloz nave espacial? Pues pasaría lo que se describe en la llamada Paradoja de los Gemelos, una curiosa historia que los físicos utilizan para ilustrar este fenómeno. Imagínate a dos hermanos gemelos en el planeta Tierra. Uno de ellos es astronauta y se va de viaje por el Universo en una potente nave espacial que alcanza esas velocidades relativistas, cercanas a las de la luz. El otro, menos aventurero, se queda en casa a esperarle. Pongamos que el gemelo viajero va hasta la estrella más cercana a la Tierra, Alfa Centauro (a una distancia de unos cuatro años luz), viajando al 80% de la velocidad de la luz.

A su regreso, los dos descubren, sorprendidos, que si bien al comienzo del viaje tenían la misma edad (porque son gemelos), ahora el que se ha quedado en tierra es cuatro años más viejo. En la Tierra han pasado diez años, mientras que en la nave solo seis (otro de los extraños efectos relativistas

es que la distancia se contrae, luego para el astronauta el trayecto también habría sido más corto). El tiempo ha pasado a un ritmo diferente para ambos y, durante su viaje, nuestro gemelo aventurero ha celebrado cuatro fiestas de cumpleaños menos. De hecho, si el viaje del astronauta hubiera sido lo bastante largo y a la velocidad suficiente, a su regreso la Tierra podría haber sido ya engullida por el Sol, convertido en estrella Gigante Roja (cosa que pasará dentro de unos 5.000 millones de años). En definitiva: mientras que la velocidad de la luz es constante, las coordenadas de espacio y tiempo varían para que encajen las leyes de la física.

¿Cómo podemos saber que todo esto es cierto? Aunque todavía no se pueden hacer viajes interestelares a tan enormes velocidades, en 1971 los científicos Hafele y Keating realizaron un experimento para demostrarlo utilizando relojes atómicos de cesio (muy precisos) y aviones de línea regular; estos volaron primero en dirección este y luego en dirección oeste, mientras que otro reloj de referencia se dejaba en el Observatorio Naval de Estados Unidos, en la ciudad de Washington D. C. Lo que hallaron fue que, en efecto, los relojes habían marchado de forma diferente, según predice la Teoría Especial de la Relatividad. Aunque la diferencia era muy pequeña, esos relojes atómicos que pueden medir tiempos extremadamente cortos fueron capaces de detectarla.



CURIOSIDAD CIENTÍFICA: Otra forma de observar el fenómeno es utilizando muones, como hicieron Frisch y Smith en 1963. Los muones son unas partículas 207 veces más pesa-

das que el electrón (también de carga negativa) que se detectan en la atmósfera después del impacto de los rayos cósmicos. El tiempo de vida medio de un muón, lo que tarda en desintegrarse en otras partículas de manera natural, es de 22 microsegundos. Frisch y Smith comprobaron que, en la superficie terrestre, se detectaban muchos más muones de los esperados: donde solo tendrían que llegar 27 partículas cada hora (ya tendrían que haberse desintegrado), llegaban 412. La explicación del enigma era que, al viajar los muones a velocidades cercanas a la de la luz, para ellos el tiempo, observado desde la superficie, transcurría más lento. Igual que el gemelo astronauta, los muones viajeros tardan más en *envejecer* y en desintegrarse. Y así llegaban en más cantidad al suelo.

Pero eso no es todo. Einstein siguió trabajando hasta desarrollar una teoría más avanzada, que llamó Teoría General de la Relatividad y que presentó en 1915. Esta teoría explica el Universo a gran escala ligando las fuerzas gravitacionales a la geometría del espacio-tiempo. Esta teoría nos habla del Big Bang, del futuro del Universo, de los agujeros negros. Una de sus consecuencias es que los relojes van más lentos, no solamente cuando viajan a gran velocidad, sino también cuando están en un campo gravitatorio más fuerte. Por ejemplo, irían más lento en un sótano que en un ático, ya que el campo gravitatorio de la Tierra disminuye según nos alejamos de su centro. Por tanto, si vives en un bajo estás de suerte...

Una vez más, la variación del campo gravitatorio es tan pequeña que no notamos efectos en nuestra vida cotidiana. En cambio, sí los notan los astronautas de la película *Interstellar*. En una de las secuencias, un grupo de astronautas abando-

nan la nave principal para bajar al llamado planeta de Miller, que se encuentra dentro del intenso campo gravitatorio del agujero negro supermasivo Gargantúa; entretanto, uno de ellos se queda de guardia. Para los que han bajado solo ha pasado un rato (eso sí, con unas cuantas aventuras de por medio, no se trata de hacer *spoilers*), pero a su regreso comprueban que el compañero que ha permanecido arriba es ya un anciano. Por cada hora en el planeta de Miller, han pasado siete en la nave.

Este mismo efecto también se ha comprobado en la Tierra colocando precisos relojes atómicos a diferentes alturas que, como predice la teoría, han detectado diferencias de nanosegundos en sus mediciones (de hecho, para su correcto funcionamiento, los satélites del sistema de posicionamiento GPS deben tener en cuenta este fenómeno constantemente). Así que la próxima vez que visites un piso donde vayas a vivir, acuérdate del viejo Einstein y ten en cuenta este efecto. Porque el tiempo es oro, pero oro líquido. Tic, tac, tic, tac...

2

¿A qué temperatura hierve el agua en la cima del Everest?

Todos aprendimos de memoria en el colegio que el agua hierve a 100 grados centígrados (°C). A esa temperatura calentamos el agua para cocer pasta o hacer sopa de sobre. Pero esta respuesta no es del todo cierta, o no del todo completa. Como ocurre muchas veces en la ciencia, casi todo es relativo, y por eso el punto de ebullición del agua (la temperatura a la que hierve) depende de algunos otros factores.

Lo primero que debemos preguntarnos es: ¿por qué hierve un líquido? Un líquido, como el agua, está compuesto de moléculas unidas de forma más laxa, menos intensa, que un sólido (en este caso, el hielo, agua sólida). Llamamos «temperatura» a la vibración de las moléculas que forman las cosas: cuanto más caliente está algo, mayor es la vibración de sus moléculas (cuando las moléculas no vibran, estamos a la temperatura más fría que existe, el cero absoluto, a -273 °C (o 0 grados Kelvin, K), aunque, según los Principios de la Termodinámica y la Física Cuántica, es imposible de alcanzar). Así que cuando algo hierve, cuando pasa de líquido a gas, es porque sus moléculas han alcanzado la vibración suficiente para librarse de las ligazones internas del líquido y perderse en el aire, formando un gas. De agua, con las moléculas de

H₂O ligadas, pasa a vapor de agua, donde cada molécula vuela libremente ocupando el máximo espacio posible. Pero este fenómeno guarda secretos y tiene truco. Primero: cuando decimos que el agua hierve a 100 °C, nos estamos refiriendo al agua pura, al agua destilada, en la que no hay disuelta ninguna otra sustancia. Normalmente, el agua que bebemos contiene diferentes sustancias diluidas, como podemos comprobar si leemos la etiqueta de cualquier botella de agua mineral, de esas que analiza el famoso Laboratorio Dr. Oliver Rodés: calcio, magnesio, sodio, hierro, bicarbonato, sulfatos...

Por ejemplo, la sal común que usamos en la cocina (NaCl), en la medida suficiente, sube el punto de ebullición del agua; es decir, cuesta más que hierva, hay que ponerla a mayor temperatura, superior a los 100 °C. Se necesitan aproximadamente 58 gramos de sal para elevar el punto de ebullición de 1 litro de agua 1 °C. También disminuye el punto de congelación; es decir, se congela por debajo de los 0 °C. Los entrometidos iones de la sal ponen más difícil a las moléculas de agua formar cristales de hielo. Por eso se echa sal a las carreteras en días de mucho frío, para evitar la formación de hielo y los accidentes de tráfico que puede provocar.

Además, cuando decimos que el agua hierve a 100 °C, solemos referirnos al agua sometida a la presión de una atmósfera, la que suele medirse a nivel del mar. Recuerda que vivimos sometidos a una constante presión, y no me refiero a estar pendiente de los grupos de WhatsApp. Todos soportamos la presión que ejerce el peso del aire de la atmósfera sobre nosotros. Sin embargo, cuanto menor es la presión, menor es el punto de ebullición de los líquidos; dicho de otra manera, hierven con más facilidad. ¿Por qué? Porque los

líquidos están hechos de moléculas, y la menor presión atmosférica permite que esas moléculas escapen con más facilidad. La atmósfera no «aprisiona» a las moléculas dentro del líquido.



Truco para profes: (1 atmósfera = 760 mmHg = 1.013 mbar = 101.300 Pa)

Los pascles (Pa), llamados así en honor a Blaise Pascal (matemático y físico francés del siglo XVII), son la unidad de medida de la presión en el Sistema Internacional. Y lo de los 760 milímetros de mercurio (mmHg) tiene su explicación, la pena es que no podrás repetirlo en clase, pues el mercurio es muy difícil de conseguir (es altamente tóxico). En 1643, el italiano Evangelista Torricelli, también físico y matemático, tomó un tubo de 1 m de largo y 1 cm² de sección (cerrado en uno de los extremos y lleno de mercurio) y lo invirtió sobre una cubeta llena del mismo metal. De inmediato, la columna bajó varios centímetros por efecto de la presión atmosférica, alcanzado una altura de 76 cm. Había inventado el barómetro. Puedes repetir el experimento con agua. No alcanzará la misma altura y a lo mejor termináis empapados, pero al menos tus alumnos visualizarán el efecto. **Y no olvidarán esa clase.** 😊

¿Cómo conseguimos que la presión baje y que el agua hierva a menor temperatura (aplicándole menos energía)? Basta con subir una montaña. Si la presión atmosférica está producida por el aire situado encima de nosotros, cuanto más alto subamos, menos aire tendremos encima, menos ca-