



**NORA
BÄR
DIEZ**
PREGUNTAS
QUE LA
CIENCIA
(TODAVÍA)
NO PUEDE
CONTESTAR

PAIDÓS

Diez preguntas que la ciencia (todavía) no puede contestar

Diez preguntas que la ciencia (todavía) no puede contestar

Nora Bär

Índice de contenido

Portadilla

Legales

Presentación, *por Diego Golombek*

Prólogo, *por Adrián Paenza*

Introducción

Capítulo 1. ¿Qué hubo antes del *Big Bang*?

Capítulo 2. ¿Qué hay en el 96% del universo?

Capítulo 3. ¿Qué pasa si nos caemos en un agujero negro?

Capítulo 4. ¿Qué es el tiempo?

Capítulo 5. ¿Cómo surgió la vida?

Capítulo 6. ¿Cuál es el límite de la vida humana?

Capítulo 7. ¿Cómo surge la conciencia?

Capítulo 8. ¿Qué es la inteligencia?

Capítulo 9. ¿Cómo actúa el efecto placebo?

Capítulo 10. ¿Por qué dormimos?

Agradecimientos

Bär, Nora

Diez preguntas que la ciencia (todavía) no puede contestar / Nora Bär. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Paidós, 2018.

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-950-12-9786-7

1. Ciencia. 2. Divulgación. I. Título.

CDD 507

© 2018, Nora Lia Bär

Diseño de cubierta: Departamento de Arte de Grupo Editorial Planeta S.A.I.C.

Corrección: Brenda Axelrud

Armado: Tomás Fadel

Todos los derechos reservados

© 2018, de todas las ediciones:

Editorial Paidós SAICF

Publicado bajo su sello PAIDÓS®

Independencia 1682/1686,

Buenos Aires – Argentina

E-mail: difusion@areapaidos.com.ar

www.paidosargentina.com.ar

Primera edición en formato digital: noviembre de 2018

Digitalización: Proyecto451

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del “Copyright”, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, incluidos la reprografía y el tratamiento informático.

Inscripción ley 11.723 en trámite

ISBN edición digital (ePub): 978-950-12-9786-7

*Para Eva, Ana, Nicolás y Laura, mis hijos.
Y para Manuel y Saraswati, mis nietos.
Tal vez algún día ellos lleguen
a conocer la respuesta a estas preguntas.*

PRESENTACIÓN

Diego Golombek

No sé adónde estoy yendo, pero estoy en el camino. Me tomo mi tiempo, pero
no sé hacia dónde.
PAUL SIMON

Hace mil quinientos años, todo el mundo sabía que la Tierra era el centro del universo; hace quinientos años, todo el mundo sabía que la Tierra era plana; y hace quince minutos, tú sabías que los humanos somos los únicos seres inteligentes sobre la Tierra. Imagina lo que sabrás mañana.
AGENTE K, EN *HOMBRES DE NEGRO*

Imaginen un enorme mercado, y ustedes recorriéndolo como turistas que andan por donde los lleven el camino y la intuición. Pero este es un mercado extraño: no hay ofertas, ni vendedores, ni tiendas donde cuelguen productos apetitosos. No. Solo hay puertas. Tantas que no podemos contarlas.

Esas puertas no son otra cosa que las preguntas que nos hacemos y que nos sorprenden a cada paso. Las preguntas de las que están hechos la ciencia... y este libro. Con cierto sigilo, abrimos alguna de esas puertas, la que más nos llama la atención por su forma, su color, su tamaño. Lo hacemos con el cuidado de quien no sabe qué le espera del otro lado. Y, claramente, no es lo que pensábamos: al otro lado hay... más y más puertas.

Es que de eso se trata una buena pregunta científica: es aquella que, en lugar de cerrarse con una respuesta, se multiplica en otras preguntas, formando una autopista infinita que se ramifica a medida que avanzamos. Por supuesto, cada tanto necesitamos alguna respuesta para sentirnos un poco más aliviados, para darnos la confianza de saber que vamos por una senda correcta. Sin embargo, lo que nos mueve son los interrogantes.

Y vaya si hay preguntas para rato en este mercado. Hay tanto pero tanto que no sabemos que generaciones de científicos podrán estar ocupados para

siempre. No sabemos por qué existe el universo, o de qué está hecho, ni si contiene vida más allá de la nuestra, ni qué hay debajo de nuestros pies (un debajo bastante profundo, claro), ni qué sucede exactamente en el micromundo cuántico.

Es ese no saber el que nos mueve. La ignorancia, y la angustia frente a lo desconocido, son la zanahoria que hace avanzar la ciencia y a nuestros cerebros. Desarrollamos prótesis para ver lo pequeño, lo lejano, lo extremadamente rápido o fugaz (y las llamamos *microscopios*, *telescopios*, *detectores de cambios minúsculos*) y, sin embargo, el universo nos sigue esquivando. Y eso es simplemente maravilloso: nos convierte a todos en científicos preguntones y curiosos, con las bocas abiertas frente a lo que nos fascina y nos impulsa.

En estas páginas Nora Bär elige –y lo hace con maestría– algunas de esas preguntas que nos llevan a la frontera de la ciencia. Allí estarán el universo oscuro, el tiempo, los misterios del cerebro o el sueño... la vida misma. Y lo hace con la misma sagacidad con la que la leemos en el diario o la escuchamos en la radio, dándonos la dosis justa de datos, certezas y desconocimientos. Hay un mundo ahí afuera, y hay que contarlo, buceando en ese mar de experimentos y observaciones, para ayudarnos a comprender un poquito más la naturaleza. Contrariamente a lo que se suele suponer, entender ese mundo no le quita nada de magia o de belleza; por el contrario, ese instante en que de pronto nos iluminamos es profundamente mágico y bello, aunque para llegar a esto necesitamos un poco de ayuda, alguna guía para no perdernos en el laberinto de los detalles y las dudas. Este libro es una de esas guías. Así, de a poco, podemos recorrer algo de lo conocido para intuir, con cierto respeto, todo lo que hay debajo, arriba y a los costados. El mundo de lo que no sabemos.

Pasen y vean. Y pregunten.

PRÓLOGO

Adrián Paenza

Cuando somos niños, jugamos con lo que nos regalan o con lo que tenemos a mano. Y como es muy clásico, no solo con lo que se supone que es el objeto del juego propiamente dicho, sino con lo que lo envuelve, lo contiene, lo adorna... Sorprendentemente, a veces (muchas) decidimos averiguar un poco más y no quedarnos solo con el “juguete” en sí. Los adultos quieren que nosotros “armemos” y ejecutemos lo que ellos tienen en mente. Nosotros tenemos nuestras propias ideas. Por ejemplo, saber de qué está hecho, qué piezas lo componen, qué material es el que usaron. Intentamos desarmarlo ante la desesperación de esos mismos adultos que, a los gritos, nos impiden que avancemos con nuestra curiosidad.

Esta curiosidad es la que nos impulsa a seguir y, cuando los adultos nos pierden de vista, la odisea continúa. Ya no solo se trata de averiguar qué es lo que mantiene “pegadas” las piezas, sino también de evitar cuidadosamente entrar en el campo visual de esos mismos adultos que fueron quienes nos proveyeron del material a investigar.

Muchas veces, el *castigo* consiste en que nos sustraen el objeto de estudio. Otras, la penitencia es más aguda. Pero lo que los adultos no advierten es que el “motor” que ellos no ven y que nos impulsa es el de la curiosidad. Si no toma la forma que ellos esperan, el objetivo consiste en tratar de “domarnos”, de enseñarnos lo que “indican las reglas y las buenas costumbres”, o, si se prefiere, lo que sea que signifique que “un niño está *bien educado*”.

Hay un grupo de personas que logra superar el cerco y aún continúa con el intento; solo que, ahora, quienes nos quieren castigar, como no nos pueden retirar “el juguete”, nos quitan el “presupuesto”. De niños, alcanza con un martillo para *deconstruir* lo que viene armado. De grandes, tenemos herramientas más sofisticadas. Hacemos teorías, conjeturamos y después nos construimos un *acelerador de partículas*. Grande. Y especulamos con que deberíamos poder encontrar algo que todavía no vimos, pero que intuimos que está allí.

Y comienza la tarea detectivesca. Son tres partes: primero, conjeturar qué deberíamos encontrar. Segundo, buscar caminos para llegar hasta ese lugar, y finalmente, tercero y último, descubrirlo. Lo extraordinario es que cuando logramos comprobar que lo que habíamos pensado era cierto (algo que obviamente *no siempre sucede*), aparecen otras miles de cosas que ni sabíamos que no sabíamos. Y la búsqueda se renueva.

El libro que sigue es un resumen apretado, pero preciso, que habla sobre *diez* de las preguntas para las cuales todavía no tenemos respuestas. Pero las estamos buscando. Somos muchos en diferentes lugares del mundo. Pero lo extraordinario es que, a pesar de que cada vez nos van quitando más y más herramientas, todavía sobrevive el espíritu crítico y la excelencia de quienes nos formaron.

Ahora, esta historia continúa así... es el turno de mi querida amiga, Nora Bär. Yo le dejo la posta a ella.

INTRODUCCIÓN

La ciencia está preñada de fascinación y misterio. No en el sentido de esa curiosidad superficial que se desvanece rápidamente, sino en el del asombro y la extrañeza que sugieren al ser humano la vastedad del cosmos, o lo etéreo de los más mínimos constituyentes de la materia.

DOUGLAS HOFSTADTER

En mi adolescencia, creí que no había nada que pudiera superar a la literatura. A través de la ficción, vagué por el mundo. Después la vida me mostró otros caminos. Tuve la suerte de conocer a algunos de los más brillantes científicos del momento, exploradores que se atreven a acercarse al horizonte de lo que la mente humana puede vislumbrar. Ellos me permitieron participar en sus viajes por territorios misteriosos.

Es difícil transmitir la exaltación que produce el descubrimiento. Como surgidas de la creatividad de un artesano juguetón y caprichoso, las tramas de esas historias superan nuestras ideas más audaces. Aunque la ciencia iluminó en los últimos siglos muchísimos rincones del mundo que habitamos, a cada nuevo hallazgo surgen preguntas más profundas. ¿Cómo se comporta el espacio-tiempo en los extraños agujeros negros? ¿Cómo es posible que esa masa arrugada y blanquecina de un kilo y medio alojada en nuestro cráneo produzca la experiencia del dolor o del color azul? ¿Por qué pasamos la tercera parte de nuestra vida durmiendo?

Aunque construimos máquinas capaces de volar sobre montañas y mares, y de recorrer nuestro barrio cósmico, de desintegrar la materia en sus más ínfimos componentes, de procesar información a una velocidad asombrosa y hasta de aprender, hay enigmas que, a menos que se dejen de lado leyes aceptadas, todavía es imposible develar. ¿Es nuestro universo solo una burbuja en un enjambre de burbujas cósmicas? Si se inició en un punto infinitamente denso y caliente, ¿qué pasó antes? Estudiamos una miríada de organismos, algunos de los cuales solo existen en ambientes extremos, como la Puna o el fondo de los océanos, pero todavía nos es imposible asegurar cuál fue el camino bioquímico que condujo al origen de la vida.

Este es el campo de juego en el que se disputa la validez de las tramas más fascinantes de la investigación. El antropólogo Stephen Jay Gould decía que la especie humana es la única en la que el juego y la exploración no son solo cualidades de los jóvenes. Tal vez por eso experimentamos una emoción intensa al acercarnos a estos abismos. Los humanos somos animales que aprenden.

Les propongo un puesto de avanzada en la travesía que ofrece la ciencia actual. Como periodista, intenté acercarme a esas fronteras preguntándoles a los protagonistas de esta aventura mayúscula. Este libro reúne sus testimonios que, alguna vez, serán historia. Y aunque al final no tendremos respuestas concluyentes, en el trayecto pasaremos por datos increíbles, anécdotas desconcertantes y especulaciones de esas que “nos rompen la cabeza”. Ojalá disfruten tanto al leerlo como yo al escribirlo.

CAPÍTULO 1

¿QUÉ HUBO ANTES DEL *BIG BANG*?

La tradición india de los *Upanishad* es escueta: “Al comienzo el universo no existía. Apareció después”.

Para el Islam, Alá creó todas las cosas del universo y trajo a la vida fuera del agua. “Alá creó [al hombre y la mujer, y a] todos los animales a partir de un líquido. Algunos de ellos se arrastran sobre sus vientres, otros caminan sobre dos patas, y otros sobre cuatro. Alá crea lo que quiere; ciertamente Él tiene poder sobre todas las cosas”, se lee en El Corán (24:45).

Según la *Enuma Elish*, la antigua historia de la creación elaborada por los babilonios y esculpida en piedra en lengua acadia que data de por lo menos el 2000 a. C., (1) el mundo comenzó en un caos líquido. No había cielo ni tierra, solo aguas dulces (*Apsu*) y saladas (*Ti'amat*). Con el tiempo, la lenta filtración del cieno formó *Lahmu* y *Lahamu*, que se extendieron hasta formar un anillo gigante que se convirtió en el horizonte. De allí nació una profusa genealogía de dioses, uno de cuyos descendientes, Marduk, separó el cielo de la Tierra.

Las leyendas budistas e hinduistas contienen muchas versiones diferentes sobre la creación. (2) Contemplan ciclos infinitos de nacimiento, muerte y renacimiento. Al final de cada cuatro mil trescientos veinte millones de años, un solo día en la vida de Brahma, el espíritu universal absorbe toda la materia del universo mientras este duerme. Al amanecer, Brahma se levanta del loto y la materia reaparece. Pasados cien años de Brahma, todo se destruye, incluso él mismo, y después de otro siglo renace y otro ciclo se completa.

En el libro del Génesis, el cristianismo describe la Creación en términos poéticos: “En el principio creó Dios el cielo y la Tierra. La Tierra era soledad y caos, y las tinieblas cubrían el abismo; pero el espíritu de Dios aleteaba por encima de las aguas. Dijo Dios: ‘Haya luz’. Vio Dios que la luz estaba bien, y apartó Dios la luz de las tinieblas; y llamó Dios a la luz ‘día’ y a las tinieblas las llamó ‘noche’. Y atardeció y amaneció: día primero”. Así, en seis días, Dios crea el cielo, la tierra, el mar, la vegetación, los árboles frutales “que

den fruto conteniendo en ellos la simiente de su propia especie”, las estrellas, los animales marinos, las aves, los reptiles y alimañas, y finalmente a los humanos para dominar “sobre los peces del mar, sobre las aves del cielo, y sobre las bestias y sobre todas las alimañas terrestres, y sobre todos los reptiles de la tierra”. En la séptima jornada, satisfecho de su obra, Dios descansa.

Para los antiguos pobladores de la Polinesia, “no había sol ni luna, ni tierra, ni montaña: todo era confusión”.

Los egipcios afirmaban que “el cielo no existía, la Tierra no existía. Los hombres tampoco. Los dioses no habían nacido. No había muerte”.

El relato mesoamericano *Popol Vuh* explica que “en el principio todo estaba tranquilo, silencioso e inmóvil. Nada existía salvo el cielo vacío y el mar sereno en la noche profunda”.

Para los griegos, el mundo era obra de un divino artífice que lo había construido siguiendo los patrones estéticos que imperan en el arte.

En la Edad Media se creyó que la Tierra estaba en el centro del mundo, rodeada por nueve esferas sobre las cuales se movían los planetas y una décima en la que habitaba Dios.

Una concepción singular es la que describe el historiador italiano Carlo Ginzburg en *El queso y los gusanos*, (3) donde reconstruye la vida de Domenico Scandella, llamado *Menocchio*, un molinero que nació y vivió entre 1532 y 1601 en las colinas del Friuli, cerca de los Alpes, y de cuya vida se tienen noticias gracias a las actas del proceso inquisitorial que tuvo que enfrentar por sus creencias poco convencionales. Menocchio negaba que Dios hubiese creado el mundo y creía que este se había generado “por generación espontánea” a partir de un caos primigenio, como los gusanos del queso, un pensamiento materialista refractario al dogma oficial de la iglesia católica y que, según Ginzburg, habría permeado toda la Edad Media.

A su manera, este amplio abanico de fórmulas responde a la pregunta primigenia de la filosofía: ¿por qué es el ser y no más bien la nada? Intentan una respuesta para la cuestión que nos atormenta desde que alguien dirigió su mirada hacia las vastedades del cosmos: ¿de dónde salió todo esto?, ¿tuvo un comienzo el universo? Y, si es así, ¿cómo fue?

Hoy la ciencia ofrece su respuesta: el cosmos se habría originado en un punto infinitamente denso y caliente, en una fabulosa e incommensurable explosión. Y, mientras en la Antigüedad se lo consideraba compuesto por cielo, tierra y submundo, la receta del universo moderno incluye átomos,

materia oscura, radiación y vacío, todo regido por las leyes einsteinianas y la mecánica cuántica.

Pero la teoría desarrollada hasta ahora solamente explica lo que sucedió desde una fracción infinitesimal de segundo después de la gran explosión. Qué ocurrió en el evanescente instante previo, todavía es un enigma. “No solo carecemos de observaciones pertinentes, sino que la teoría misma nos falta – afirma el astrofísico canadiense Hubert Reeves–. (4) Tenemos todas las razones para pensar que, más allá de un cierto límite (alrededor de 1032 grados Kelvin) (5) las nociones mismas de temperatura y de tiempo pierden su sentido.”

Las relaciones entre la visión actual del cosmos, dominada por la matemática, y las ideas religiosas siempre fueron tormentosas. En el siglo XVII, Galileo fue acusado de herejía y sufrió reclusión domiciliaria cuando descubrió el movimiento de los planetas y confirmó que la Tierra no era el centro del universo. Sin embargo, fue un sacerdote, el abad Georges Lemaître, el primero en plantear, a principios del siglo XX, la teoría del universo en expansión, hoy conocida como *Big Bang*, según la cual galaxias, planetas y estrellas se originaron en un punto primordial o, como lo llaman los astrofísicos, en una *singularidad de infinita densidad* ocurrida hace alrededor de trece mil setecientos millones de años.

**EN LA EDAD MEDIA SE CREYÓ QUE LA TIERRA ESTABA
EN EL CENTRO DEL MUNDO, RODEADA POR NUEVE
ESFERAS SOBRE LAS CUALES SE MOVÍAN LOS PLANETAS
Y UNA DÉCIMA EN LA QUE HABITABA DIOS. PARA LOS
GRIEGOS, EL MUNDO ERA OBRA DE UN DIVINO ARTÍFICE.**

La historia del mundo contada por los físicos afirma que en ese momento un punto infinitamente denso comenzó a expandirse. El eco de aquel estallido quedó grabado en el fondo cósmico de microondas predicho por el físico estadounidense de origen ruso George Gamow en los años cuarenta y detectado por primera vez por Arno Penzias y Robert Wilson dos décadas después, mientras trabajaban en los Laboratorios Bell. El descubrimiento fue un increíble golpe de suerte. Penzias y Wilson estaban elaborando un nuevo tipo de antena cuando se encontraron con un ruido que no provenía de ninguna

fuelle identificable. Eliminaron todas las posibles interferencias conocidas, incluidas unas palomas que habían hecho su nido en la antena. En 1965 publicaron sus hallazgos (6) y en 1978 ganaron el Premio Nobel.

Segundos después de aquel momento inicial, el cosmos ya era inmenso. Pero a los 380.000 años se ensombreció. La masa de partículas que conformaba el universo antiguo comenzó a enfriarse, y esto permitió que protones y electrones se apareasen formando hidrógeno neutro, un gas que absorbió la mayor parte de los fotones que estaban a su alrededor. Así comenzó la llamada *edad oscura*, que los telescopios ópticos no pueden penetrar. (7)

Durante casi doscientos millones de años, las semillas del universo que conocemos fueron germinando fertilizadas por el espacio-tiempo. Por influjo de la gravedad, la materia se agrupó y nacieron las primeras estrellas. Estas comenzaron a emitir una radiación ultravioleta que modificó el estado energético de los átomos de hidrógeno y así comenzó a amanecer en el cosmos.

A mediados del siglo pasado, cuando se dio a conocer la idea del *Big Bang*, el paralelismo entre la explosión inicial y el “¡Que se haga la luz!” de la Biblia pareció ofrecer evidencias científicas a la existencia de un ser sobrenatural. En 1951, Pío XII se refirió a la nueva teoría en una conferencia dirigida a la Pontificia Academia de Ciencias, que finalizó diciendo: “Así... hay un creador. Dios existe”. (8) Luego, cuando en 1960 se comprobó la existencia de la radiación residual detectada por los astrónomos en todos los rincones del cosmos, que nos transmite el eco de la explosión inicial, algunos también quisieron ver en ese hecho la firma de Dios. De acuerdo con testimonios de la época, Pío XII afirmó que los descubrimientos astronómicos confirmaban la página inicial del Génesis, cuando describe la creación del universo y el *Fiat lux*. Y luego agregó que “las estimaciones convergen en la conclusión de que hubo una época hace entre 10^9 y 10^{10} años, en la que, si el cosmos existía, lo hacía bajo una forma totalmente diferente de lo conocido: de modo que representa el límite último de la ciencia. Podríamos tal vez referirnos a él como la Creación. Ofrece un escenario consistente con la visión sugerida por la evidencia geológica de que todo organismo que alguna vez existió en la Tierra tiene un comienzo en el tiempo”.

Al parecer, después de esta intervención Lemaître pidió y obtuvo una reunión personal con Pío XII justo antes de que, en septiembre de 1952, este diera un discurso en Roma en ocasión del congreso de la Unión Astronómica

Internacional, de la cual Lemaître era miembro, para hacerle notar que sus comentarios, que intentaban hacer coincidir la ciencia y los libros sagrados, eran erróneos. (9)

A pesar de los datos recabados por instrumentos terrenos y espaciales que rastrean el cosmos cada vez con mayor precisión, los científicos aún no logran develar el misterio que rodea sus primeros instantes. Hace casi dos décadas, en una reunión realizada en Washington sobre este tema a la que me tocó asistir, (10) Sandy Faber, astrónoma dedicada al estudio de la formación y evolución de las galaxias de la Universidad de California en Santa Cruz y responsable de algunos de los más resonantes descubrimientos del telescopio Hubble, se preguntaba: “Todo indica que el *Big Bang* realmente existió. Pero ¿es entonces cuando empezó el universo? ¿Se originaron allí el tiempo y el espacio?”. A lo que respondió: “Eso es algo que, al menos por ahora, está más allá de mi comprensión”.

Uno de los más ambiciosos intentos de resolver la incógnita fue la obtención de la imagen de campo profundo (*deep field image*), que se realizó enfocando continuamente el Hubble durante dos semanas hacia una región muy pequeña del cielo. El resultado fue impresionante: una escena saturada de pequeñas motas de luz que representaban galaxias sobreimpresas en otras galaxias, sobreimpresas en otras galaxias, sobreimpresas... Muchas más de las que la mente más aventurada podría imaginar. La luz de esas estrellas viaja miles de millones de años para llegar hasta nosotros, de modo que cuanto más lejos miramos más atrás en el tiempo observamos, hacia la infancia del universo. Sin embargo, hay un límite: “Más allá del horizonte cósmico, cuando el universo tenía algo así como 300.000 años, ya no vemos galaxias”, afirmó en esa ocasión el astrofísico también de la Universidad de California, Joel Primack. “Puede ser que esas sean las edades oscuras del universo. En esos tiempos primigenios, había casi la misma cantidad de materia y de antimateria. Todo lo que observamos hoy [a nuestro alrededor] son los mínimos excedentes de materia que quebraron la simetría y sobrevivieron para evolucionar.”

“Algunos cínicos solían decir, con cierta razón, que solo había dos hechos claros en cosmología: que nuestro universo se está expandiendo y que el cielo es oscuro por la noche”, escribió hace dos décadas *sir* Martin Rees. (11) Más allá de las abrumadoras evidencias teóricas y observacionales que lo respaldan, el *Big Bang* deja cabos sueltos. Por ejemplo, por qué el universo primitivo estaba tan caliente, por qué es tan homogéneo en cualquier dirección en que se mire y qué pasó antes de la explosión inicial.

El modelo inflacionario (12) intenta llenar este vacío. Sugiere que hay un estado de la materia que solo se alcanzaría a muy altas energías con la extraña propiedad de crear una fuerza de repulsión contraria a la gravedad. En el universo temprano habría existido por lo menos un sector dominado por esta fuerza que prevaleció durante la explosión inicial. A fines de los noventa Rocky Kolb, profesor de astrofísica de la Universidad de Chicago y miembro del grupo de la NASA en el laboratorio Fermilab, intentó recrear los primeros segundos de la sopa primordial provocando colisiones entre partículas subatómicas. Reprodujo las condiciones imperantes hasta el momento situado a 0,000 000 000 004 segundos del *Big Bang*, un instante en el que se acumulaba una energía similar al total de la producida por el Sol en sesenta y cuatro mil millones de años. “¿Qué había antes de eso? –se preguntó en aquella reunión de Washington–. Vacío. Pero para la mecánica cuántica, el vacío tiene energía. Mediciones más detalladas acerca de la naturaleza de la materia oscura podrán ayudar a probar, en el futuro, que la materia viene del vacío... es decir, de la nada. Pero, entonces, tendremos que explicar el vacío.”

“Preguntar qué sucedió antes del *Big Bang* es como preguntar qué hay al norte del Polo Norte –afirma el astrofísico Sean Carroll–. (13) La verdad es que simplemente no lo sabemos. Las reglas de la relatividad general no son ambiguas: dado cierto tipo de cosas en el universo, debe haber habido una singularidad [un punto del espacio-tiempo con volumen cero y densidad infinita] en el pasado. Pero esa no es realmente una conclusión internamente consistente. La singularidad misma sería un momento en el que la curvatura del espacio-tiempo y la densidad de la materia serían infinitas, y las reglas de la relatividad general simplemente no se aplican” en esas condiciones.

Para Alejandro Gangui, investigador del Conicet en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio, el origen del universo es uno de los temas que más concepciones equivocadas inspira en el imaginario popular. Expresiones tales como “la gran explosión” (precisamente, lo que quiere decir *Big Bang* en castellano) llevan a pensar, de manera errónea, que la expansión del universo comenzó en un punto particular del espacio, una suerte de “huevo primitivo”, como el imaginado en la antigua cosmogonía hindú, en la que todo el universo se habría concentrado inicialmente.(14)

Pero como el principio cosmológico o copernicano establece que no existe lugar privilegiado en el universo, ¿dónde ocurrió la “gran explosión”? ¿Cómo precisar un lugar y un tiempo si esa explosión es la que creó el espacio y el tiempo? “Lo cierto es que los modelos del Big Bang ¡no explican el Big

Bang!”, escribe Gangui. O, dicho de otra forma, los modelos llamados *de la gran explosión* no pretenden explicar lo que sucede en esa gran explosión, ni mucho menos cómo se produjo. Lo que postulan es la existencia de un universo en expansión que en el pasado era más denso, energético y caliente de lo que es ahora. Es decir, que los modelos del *Big Bang* detallan con increíble precisión la evolución de nuestro universo desde épocas primordiales hasta el presente pero nada dicen de su origen.

**¿CÓMO PRECISAR UN LUGAR Y UN TIEMPO SI ESA
EXPLOSIÓN ES LA QUE CREO EL ESPACIO Y EL TIEMPO?
“LO CIERTO ES QUE LOS MODELOS DEL BIG BANG ¡NO
EXPLICAN EL BIG BANG!”**

Uno de los principales obstáculos que se interponen en los intentos de cosmólogos y astrofísicos para explicar qué hubo antes del *Big Bang* es que las dos principales descripciones de la naturaleza –la teoría de la gravedad (que rige en el mundo macroscópico, describe los mecanismos de la gravedad y cómo esta afecta el espacio y el tiempo) y la mecánica cuántica (que impera en el mundo de lo infinitamente pequeño, en el extrañísimo zoológico subatómico)– son irreconciliables. Desde que fueron postuladas, en 1915 y 1920, respectivamente, los científicos están empeñados (hasta ahora sin éxito) en combinarlas en la gravedad cuántica. Sospechan que en el comienzo, cuando lo grande era inconcebiblemente pequeño, tiene que haberse dado una suerte de matrimonio entre ambas teorías que podría describir lo que denominan la *era de Planck*: un instante fugaz, entre el tiempo cero del cosmos y 10^{-45} de segundo (es decir, un cero seguido de una coma, 44 ceros y un uno), y antes de que el tamaño de ese cosmos recién nacido alcanzara un tamaño de 10^{-35} de metro (un cero seguido de una coma, 34 ceros y un uno). Como no logran desentrañar los votos de esa ceremonia nupcial, ninguna ley de la física describe de manera adecuada el comportamiento primigenio del universo. (15)

De modo que la teoría cosmológica más popular de los últimos cincuenta años, lejos de resolver los problemas sobre el origen del cosmos, lo que hace es establecer una veda epistemológica: (16) hay un punto más allá del cual no podemos saber qué ocurrió.

Para sortear ese callejón sin salida, algunos especulan con que el *Big Bang*

no fue el origen de todo y que tal vez nunca haya existido. Es la propuesta que expuso en la revista *General Relativity and Gravitation* (17) Juliano César Silva Neves, físico de la Universidad de Campinas, en Brasil. La idea no es nueva. Es compartida por otros investigadores y, de hecho, ya fue planteada por mitos fundacionales: se trata de imaginar el universo como un monstruo cíclico, un enorme acordeón de materia y tiempo que se expande y se contrae en una sucesión eterna. Para fundamentarlo, recurre a los agujeros negros que, afirma, también ocultan una singularidad más allá de su horizonte de sucesos (la frontera de espacio-tiempo que hace que los eventos que ocurren de un lado de ese límite no puedan afectar a un observador situado del otro lado) y podrían ser considerados un equivalente de lo que ocurría antes del *Big Bang*. Claro que demostrar esta hipótesis no es tan fácil: hay que encontrar trazas de universos pasados en el actual.

Tras las huellas del tenue suspiro que llega del *Big Bang* para armar el rompecabezas de los primeros instantes del cosmos anda Matías Zaldarriaga, un cosmólogo argentino nacido en el barrio porteño de Coghlan. Formado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por su sigla en inglés), reside en Estados Unidos desde hace más de dos décadas, donde actualmente trabaja en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Zaldarriaga fue distinguido con llamada *la beca de los genios* que otorga la Fundación Mc Arthur por postular que el período posterior al *Big Bang*, pero anterior a la aparición de las primeras estrellas, puede ser observado indirectamente examinando las variaciones de la radiación cósmica de fondo (la radiación remanente del *Big Bang*), lo que ofrecería una ventana experimental para dar cuenta de eventos que hasta ahora habían sido solo materia de conjetura. Su meta es ambiciosa: rastrear momentos de la historia cósmica que de alguna manera se podrían observar o de los cuales podría haber quedado “algo” medible. (18)

“Sabemos que una fracción de segundo después del *Big Bang* el universo estaba muy caliente, lleno de materia y se expandía muy rápido –me contó desde su oficina, a dos horas de Nueva York, cuando lo llamé para hacerle la pregunta que da título a este capítulo–. Para entender cómo se llegó hasta ahí, mucha gente acepta la teoría inflacionaria. Si es verdad que hubo un período de inflación es posible que encontremos [detectemos] algo. De todas maneras, ahora ya sabemos que, incluso agregando ese período, no puede ser *lo primero* y que antes hubo *algo*, porque no se puede construir una teoría que empiece con la inflación: es inconsistente y, para eso, tenemos aún menos evidencia. Lo

único que uno puede hacer es tratar de construir un modelo, una historia, que satisfaga las ecuaciones de Einstein, [que muestre que pasó] *algo y después* [vino] la inflación; o sea, construir una historia que incluya la inflación.”

Mucho del trabajo de Zaldarriaga consistió en tratar de entender qué puede permanecer escondido en los datos que nos aporta el universo actual. El problema es que no se conocen bien cuáles son las reglas de la física que se aplican a su principio. Y ni siquiera el Gran Colisionador de Hadrones, apodado *la máquina de Dios* (19) o LHC (por su sigla en inglés), que hace chocar haces de partículas subatómicas a velocidades cercanas a la de la luz, como ocurría instantes después del *Big Bang*, puede ayudar en la tarea, porque para escudriñar qué sucedió se necesitaría algo capaz de acelerar partículas a millones de millones de veces más energía de la que puede manipular el LHC. (20)

Para Zaldarriaga, tampoco la teoría del universo “acordeón”, en el que hay sucesivos ciclos de contracción y expansión, resuelve el problema: “No está claro que sea una solución consistente con lo que sabemos –dice–. Incluso es posible que en ese momento la física funcionara de forma diferente y, entonces, ni siquiera sabemos qué ecuaciones valdrían”. Tampoco queda del todo claro que al principio del universo haya habido una singularidad, que es lo que se obtiene si uno hace correr hacia atrás la película, asumiendo que las ecuaciones de Einstein siguen siendo correctas. “Esto significa que [esas ecuaciones] no funcionan más porque dan algo que no tiene sentido –destaca Zaldarriaga–. Ciertas cosas dan infinito, no sabés qué hacer. Llega un momento en el que la película se rompe. Esa es la singularidad. Ahora, probablemente, antes de llegar a esa singularidad algo pase. Puede que esas ecuaciones que estamos resolviendo estén mal... aunque no tenemos ninguna evidencia en el laboratorio, ninguna observación de que sea así. De modo que aquí también hay que inventar *algo*... Entonces, empezás a inventar tantas cosas que es difícil llegar a una conclusión de la que estar seguro. Hay muchas propuestas de la forma ‘si asumo tal cosa, podría pasar tal otra’, y son interesantes para nosotros, pero por ahora no le ‘pegan ni en el palo’.”

Otra de las especulaciones que se barajaron es que el *Big Bang*, en cuyo comienzo podría haber una singularidad, sea algo así como el reverso de un agujero negro, en cuyo extremo también hay una singularidad, pero el astrofísico argentino se apresura a refutar esta idea. “Las singularidades de las ecuaciones de Einstein no son todas iguales –explica–. Diferentes singularidades tienen distintas propiedades y la de un agujero negro es distinta

de la del *Big Bang*. No está claro que lo que uno aprende de un ejemplo se traslade al otro. O sea, la singularidad de un agujero negro pasa en un solo lugar para todos los tiempos, mientras que el *Big Bang* es una singularidad que pasa en todos los lugares en un determinado momento. Esa diferencia, que es básicamente una distinción entre el espacio y el tiempo, técnicamente hace que cosas que uno puede ‘inventar’ para lidiar con un tipo de singularidades no necesariamente sean aplicables a la otra.”

Las dificultades no terminan allí. Incluso para construir el tipo de modelos en los que hay una implosión (o *Big Crunch*) entre dos fases de explosión habría que encontrar vestigios de cosmos anteriores. Habría que introducir “algo” para que el universo se detenga antes de llegar al *Big Crunch*, donde las ecuaciones “se rompen”. “Las fluctuaciones iniciales, que eventualmente crecen para formar las galaxias, en los modelos inflacionarios se crean *durante* la inflación, pero en los de este tipo de soluciones se crean en el último momento del *Big Crunch* y pasan a través del *Big Bang* –subraya Zaldarriaga–. O sea, cosas que ya observamos, en principio, podrían venir del universo anterior. Lo que pasa es que no estamos seguros y hoy no tenemos manera de saber si es así o no. En las ecuaciones de Einstein no podés pasar de un *Big Crunch* a un *Big Bang*. El universo no se puede frenar... no se le puede agregar ninguna materia que haga que, si venía contrayéndose e iba hacia una singularidad, se detenga y empiece a expandirse. No se puede. Entonces, algo hay que cambiar. Poner materia con propiedades muy diferentes a todo lo que conocemos (podría ser la energía oscura, pero no alcanza). Algunos encontraron soluciones audaces pero, para aceptarlas, habría que dejar de lado otras que funcionan muy bien en el laboratorio.”

La unificación de la física cuántica con las teorías relativistas también podría abrir nuevas perspectivas en la explicación del origen del universo. Hoy, la única forma de combinarlas es la teoría de cuerdas, entre cuyos principales avances se encuentran los aportes del físico argentino Juan Martín Maldacena, (21) una formulación matemática muy elegante, pero muy compleja, que hace difícil obtener predicciones concretas. Una de sus consecuencias directas lleva a pensar que el universo en el que vivimos es solamente una pequeña parte de algo más grande o que existen múltiples universos. Sin embargo, todavía se está lejos de probarlo de manera convincente.

Las ideas sobre el multiverso –hipótesis según la cual nuestro universo no es el único que existe– no son nuevas. “Ya hace rato que se encontraron este

tipo de soluciones –dice Zaldarriaga–, pero estamos en un cierto estancamiento, porque son muy difíciles de interpretar. Si uno quiere calcular la probabilidad de que uno viva en un universo o en otro, se encuentra con resultados totalmente ridículos... Seguimos dándoles la vuelta a los mismos problemas y no encontramos para dónde ir. Había unas posibles predicciones demostrables (por ejemplo, si hay universos burbuja es posible que las paredes del nuestro se hubieran chocado con las del de al lado y podríamos detectarlo). Pero buscamos esos indicios y no los encontramos.”

Poco después de morir Stephen Hawking, el 14 de marzo de 2018, en el *Journal of High Energy Physics* (22) se publicó su última teoría sobre el origen del universo, desarrollada en colaboración con el profesor Thomas Hertog, de la universidad KU Leuven. (23) El universo, según este nuevo enfoque, sería finito y más simple de lo que plantean los modelos actuales sobre el *Big Bang*.

El planteo de Hawking y Hertog se basa en el concepto de *inflación eterna*, que se introdujo por primera vez en 1979. Hay muchos modelos para la inflación cósmica, pero el preferido de muchos cosmólogos es uno en el que, debido a efectos cuánticos, nuestro universo es una burbuja en un multiverso formado por infinidad de universos burbuja. Los universos crecen o se marchitan de acuerdo con sus propias reglas, mientras que el multiverso a su alrededor continúa sin principio o final. Es una elegante combinación de cambio y atemporalidad. (24) Hay versiones de este modelo que permiten que estas burbujas interactúen entre sí gracias a la gravedad. En dichas versiones de la teoría sería posible observar trazas de esta interacción en el análisis del fondo cósmico de microondas.

La teoría de la inflación eterna, por su parte, sostiene que el universo está en constante expansión dando a luz a mundos más pequeños o “burbujas” dentro de un multiverso y que la parte que vemos es una mínima porción de algo más grande, donde el proceso terminó, y se formaron estrellas y galaxias. Cada uno de esos mundos está dominado por su propio período inicial de inflación. Sin embargo, en 2003, Alexander Vilenkin, un renombrado y muy respetado físico ucraniano que es director del Instituto de Cosmología de la Universidad de Tufts, en Estados Unidos, y Alan Guth, que desarrolló la primera teoría del universo inflacionario en 1970, trataron sin éxito de probar matemáticamente algunas de sus predicciones. (25)

Uno de los arquitectos originales de la inflación eterna, el físico de la Universidad de Princeton Paul Steinhardt, propuso que hay *big bangs* todo el

tiempo, ya que nuestro universo vibra en una quinta dimensión. Todo el espacio y el tiempo, tal como lo conocemos, se asienta sobre una superficie de cuatro dimensiones, llamada *brana* (de *membrana*: según la teoría de cuerdas, cada membrana corresponde a un universo). A veces colisiona con la de otro universo y la explosión crea ráfagas de energía que es lo que se conoce como *radiación cósmica de fondo*. A medida que los universos se alejan cada vez más en la quinta dimensión, nuestro cosmos se expande. Los ciclos de colisión y separación continúan para siempre en una danza psicodélica. Pero incluso Steinhardt afirmó en los últimos años que este modelo no logra resolver sus inconsistencias. Como le dijo Niels Bohr, el físico danés considerado uno de los padres de la mecánica cuántica, a Wolfgang Pauli, su colega estadounidense de origen austríaco, sobre su teoría de las partículas elementales, “todos estamos de acuerdo en que su teoría es loca. La cuestión es si es suficientemente loca para ser cierta”. (26)

Según cuenta Fidel Schaposnik, (27) investigador de la Universidad Nacional de La Plata, Vilenkin dio un seminario en la Universidad de Cambridge cuyo título era “¿Tuvo el universo un inicio?”. Allí, el físico ucraniano comenzó recordando los llamados *teoremas de las singularidades* formulados por Hawking y Penrose en la década de 1960 y referidos a las geodésicas: la generalización al espacio curvo de lo que es una recta, que es el camino más corto entre dos puntos cuando el espacio es plano. “Einstein nos enseñó en su Teoría de la Relatividad General que en nuestro universo el espacio no es plano, sino curvo, como es curva una esfera o una silla de montar a caballo –me explica Schaposnik durante una animada conversación telefónica desde su casa en La Plata–. Los teoremas sobre singularidades muestran que el espacio-tiempo tiene propiedades tales que ciertas geodésicas no se pueden extender infinitamente al pasado. Esto indicaría –según concluyen Hawking y George F. R. Ellis en 1973– (28) que el universo tiene que haber tenido un inicio. O sea, el universo tiene que tener una frontera en el pasado que no corresponde a un tiempo que se extiende infinitamente al pasado. Existen guiones (habitualmente llamados ‘escenarios’ por culpa de una traducción errónea de la palabra *scenario*, que significa en realidad ‘guión’) que pueden evitar la conclusión de Hawking y Ellis eliminando alguna de las hipótesis de Hawking, Penrose, Ellis. Vilenkin menciona tres de ellos que fueron estudiados por otros autores: la inflación eterna, la evolución cíclica y el universo emergente (a partir de una ‘semilla estática’). Señala que los tres son incorrectos. Las hipótesis 1 y 2 son espacios ‘geodésicamente

incompletos' (hay geodésicas que no se extienden por todo el espacio por presencia de una singularidad). La 3 porque esos universos son inestables en el nivel cuántico.

Vilenkin piensa que probablemente el cosmos tuvo un comienzo marcado por la física cuántica como propuso en sus modelos con Arvin Borde y Alan Guth en 2003, y con Mithani en 2012. La idea que expuso en Cambridge es que en física cuántica los sucesos no tienen necesariamente una causa en el sentido de la física clásica. En la cuántica una posible idea es que el universo puede haber surgido de la nada.”

Leonard Susskind, célebre físico estadounidense (cuyos trabajos recibieron alrededor de cuarenta mil citas), (29) reaccionó a esta propuesta con dos artículos del mismo año. Publicó en abril de 2012 un *preprint* con el que responde a la teoría de Mithani y Vilenkin. Bajo el título *Was there a beginning?* [¿Hubo un comienzo?], afirma que el universo es *past-eternal* (es decir, eterno hacia el pasado). “En ese estudio, Susskind da un ejemplo sencillo para explicar a qué se refiere con *past-eternal* –continúa Schaposnik y reproduce el texto original–: ‘Imagine una ciudad en una sola dimensión espacial (o sea, una semirrecta) cuyo borde (frontera) está en el punto $x = 0$. La población es infinita y ocupa uniformemente todos los puntos positivos del eje x . Cada ciudadano tiene un telescopio idéntico con alcance finito. Todos los habitantes quieren saber si la ciudad tiene un borde. Solo una parte de ellos podrá ver el borde en $x = 0$; para una mayoría infinita de habitantes, la ciudad se podría extender por todo el eje negativo de las x . Consideremos un habitante típico (es decir, uno que forma parte de la mayoría) que aún no ha estudiado cuidadosamente el asunto. Estará seguramente confiado en que no se puede detectar la frontera en x . Lo mismo sucedería si en lugar de pensar en una dimensión del espacio, pensáramos en una coordenada del tiempo’. Luego de un análisis que requiere conocimiento de cosmología y de teoría de cuerdas, Susskind concluye, en el contexto de la teoría de multiversos, que puede existir un comienzo del tiempo pero que está tan lejos en el pasado que, de manera efectiva, es como si estuviera en $t = -\infty$.”

Y enseguida agrega: “Un mes después, Susskind escribió un segundo artículo ‘Is eternal inflation past-eternal? And what if it is?’ [¿Es eterna la inflación? ¿Y qué si lo es?], donde vuelve a su discusión con Mithani y Vilenkin, pero no es claro para mí (ni para Vilenkin, que lo comentó en su seminario), si la existencia de un comienzo es finalmente posible para Susskind... La polémica entre Vilenkin y Susskind se extendió luego a otro

renombrado físico, Raphael Bousso y, como señala Susskind en su segundo artículo, ‘Given three people, there were three answers’, no hay una solución única. Por mi lado, yo pienso que la idea de Susskind es la más razonable al día de hoy. Pero, como dijo un respetado físico ruso, Mikhail Shaposhnikov, durante una de sus clases sobre el universo temprano en la Universidad de La Plata, en un *workshop* que organizamos en 1997 con el Centro Europeo de Investigación Nuclear y la Universidad de Santiago de Compostela: ‘¿Quién soy yo para ponerme a explicar el universo?’.”

En un universo esencialmente estático, no habría ninguna razón para que las estrellas hubieran comenzado a brillar; tendría que haber habido una intervención externa para presionar el interruptor. Las galaxias se están separando, lo que sugiere que en el pasado estaban más cercanas. Y todo indica que el tiempo 0 de la separación debe haber sido hace menos de veinte mil millones de años. En ese momento, el *Big Bang*, toda la materia del universo, habría estado condensada en un punto de densidad infinita. Una singularidad en la que las leyes de la física ya no regirían. Y, dado que los eventos ocurridos antes del *Big Bang* no tienen consecuencias observacionales, es posible simplemente eliminarlos de la teoría y decir que el tiempo comenzó en el *Big Bang*. Los eventos anteriores a él son indefinidos porque no hay manera de medir lo que ocurrió entonces.

La teoría de que el cosmos existió desde siempre también está en serias dificultades con la segunda ley de la termodinámica –que indica que el desorden en un sistema cerrado tiende a aumentar con el tiempo– porque, si así fuera, en este momento deberíamos encontrarnos en un estado de completo desorden y todo el universo estaría a la misma temperatura. (30) Al parecer, toda la evidencia indicaría que el universo sí tuvo un principio. Para Hawking, “este es, probablemente, el descubrimiento más notable de la cosmología moderna” y las pretensiones relativas a una explicación de la creación o de por qué hay algo en lugar de nada deben reemplazarse por una comprobación pura y simple de ignorancia: “Si el universo tuvo un comienzo, podríamos suponer que tuvo un creador –dijo–. Pero si el universo estuviera autocontenido, sin bordes ni fronteras, no tendría principio ni fin. Simplemente sería. ¿Qué lugar habría entonces para un creador?”.

“En este momento, parecería que los científicos nunca podrán levantar la cortina del último secreto” coincidió Owen Gingerich, profesor del Observatorio Astrofísico Smithsoniano en el encuentro Cosmic Questions de Washington. “Es posible que, después de atravesar innumerables dificultades

para ascender a las altas cumbres del conocimiento, cuando estemos a punto de arrojarnos sobre la última roca, los científicos seamos recibidos por una banda de teólogos que han estado sentados allí por siglos. La banda de teólogos tendrá una respuesta: ‘Dios lo hizo’.” Y agregó: “¿La respuesta a estas preguntas fundamentales tiene alguna importancia? ¿O es solo sonido y furia? Posiblemente, es justamente el hecho de que las hagamos lo que da un sentido al universo”. (31)

Zaldarriaga, que lidia con este rompecabezas cada día, también concede que las dificultades para resolverlo son monumentales: “Estos temas son difíciles de entender para todos y, en cierto sentido, ¡yo tampoco entiendo! Es decir, uno habla tanto de esto, piensa tanto sobre el mismo tema, que se acostumbra. El universo a escalas diferentes de las que experimentamos todos los días se comporta de maneras rarísimas”. (32)

Si pensar en esto no da sentido al universo, por lo menos nos lo da a nosotros, que somos apenas infinitesimales granos de arena en los vastos océanos del cosmos. (33)

1- A. Lightman, *Luz antigua*, Barcelona, Andrés Bello, 1997.

2- Una de ellas comienza con el dios Vishnú flotando sobre la espalda de la serpiente Ananta en las aguas primigenias. Del ombligo de Vishnú crece un loto en cuyo interior está el dios Brahma. Al nacer, Brahma recita por sus cuatro bocas los textos sagrados y crea el Huevo de Brahma, a partir del cual se crea el universo.

3- C. Ginzburg, *El queso y los gusanos: el cosmos según un molinero del siglo XVI*, Barcelona, Península, 2016.

4- H. Reeves, *El primer segundo*, Chile, Andrés Bello, 1997.

5- Es decir, un 1 seguido de 32 ceros.

6- A. A. Penzias y R. W. A. Wilson, “A measurement of excess antenna temperature at 4080”, *Astrophysical Journal*, vol. 142, pp. 419-421, julio de 1965.

7- D. Mediavilla, “Así se hizo la luz en el universo tras 180 millones de años de oscuridad”, *El País*, 28-02-2018.

8- Sus palabras no solo fueron reproducidas en la revista *Time*, sino también en *Physical Review*, cuando el físico George Gamow las insertó en una nota a pie de página... ¡como prueba de sus propias ideas cosmológicas!

9- G. Tanzella-Nitti, “The Pius XII-Lemaître affair (1951-1952) on Big Bang and creation”, *Interdisciplinary Encyclopedia of Religion & Science*, disponible en: <inters.org/pio-xii

lemaitre>.

10- Se trata de la Cosmic Questions, realizada entre el 14 y el 16 de abril de 1999 en el Auditorio Baird del Museo Nacional de Historia Natural, organizada por el programa Diálogo entre la Ciencia y la Religión de la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia.

11- M. Rees, *Antes del principio*, Barcelona, Tusquets, 1999.

12- La teoría de la inflación es un conjunto de propuestas para explicar la expansión ultrarrápida que habría sufrido el universo en los instantes iniciales. Fue propuesta en forma independiente en 1981 por el físico estadounidense Alan Guth y por su par estadounidense de origen ruso Andréi Linde. Aunque se desconoce el mecanismo detallado, algunas de sus predicciones fueron confirmadas por distintas observaciones. La inflación sugiere que hubo un período de expansión exponencial en el universo preprimigenio en el que el este se expandió cada vez más rápido. Hoy es la teoría más aceptada, no porque haya seguridad de que ocurrió, ya que no se cuenta con evidencias directas, sino porque, de todas las posibilidades que pudieron pensarse, es la única que no se contradice en sí misma aun antes de plantear un experimento. Si en efecto este período existió, es posible que quedaran ondas gravitacionales que podrían detectarse en las próximas décadas.

13- S. Carroll, *From eternity to here: the quest for the ultimate theory of time*, Londres, Oneworld, 2010 [ed. cast.: *Desde la eternidad hasta hoy: en busca de la teoría definitiva del tiempo*, Barcelona, Debate, 2015].

14- A. Gangui, “¿Dónde explotó el Big Bang?”, *La Nación*, 1-10-2007.

15- N. de Grasse Tyson, *Astrophysics for people in a hurry*, Nueva York, W. W. Norton & Company, 2017 [ed. cast.: *Astrofísica para gente apurada*, Buenos Aires, Paidós, 2018].

16- La idea original fue propuesta por Roger Penrose en “Before the Big Bang: an outrageous new perspective and its implications for particle physics”, *Proceedings of EPAC*, 2006, y luego desarrollada por Penrose y su colaborador Vahe Gurzadyan en “On CCC-predicted concentric low-variance circles in the CMB sky”, *Eur. Phys. J. Plus*, n° 128, febrero de 2013, p. 22. J. Jiménez, “El Big Bang nunca existió’: una nueva teoría física investiga las vidas pasadas del Universo”, *Xataka*, 18-12-2017.

17- J. C. Silva Neves, “Bouncing cosmology inspired by regular black holes”, *General Relativity and Gravitation*, n° 49, septiembre de 2017, p. 124.

18- N. Bär, “La ‘beca de los genios’, a un argentino”, *La Nación*, 28-11-2006.

19- El apodo surgió por analogía con el título del libro de L. Lederman y D. Teresi, *La partícula divina*, Barcelona, Crítica, 2007.

20- N. Bär, “El universo se comporta de maneras rarísimas”, *La Nación*, 20-04-2010.

21- Maldacena produjo una conmoción en el mundo científico cuando presentó la conjetura que lleva su nombre. Allí propone una relación fundamental entre la teoría cuántica de campos y la gravedad cuántica. En 2012 fue uno de los nueve científicos honrados con el Premio Yuri Milner a la Física Fundamental. En 2016, Thomson Reuters lo incluyó en un

estudio sobre las mentes científicas más influyentes del mundo. En 2018 recibió la Medalla Lorentz por su contribución a la comprensión de la física de los agujeros negros.

22- S. W. Hawking y T. J. Hertog, “A smooth exit from eternal inflation?”, *Journal of High Energy Physics*, nº 2018, abril de 2018, p. 147.

23- “El universo es finito, según la última investigación de Stephen Hawking”, *El País*, 3-05-2018.

24- R. Feltman y M. R. Francis, “Wait a second: What came before the Big Bang?”, *Popular Science*, 4-10-2017.

25- A. Borde, A. H. Guth y A. Vilenkin, “Inflationary spacetimes are incomplete in past directions”, *Physical Review Letters*, nº 90, abril de 2003.

26- Cit. en E. Siegel, “Yes the multiverse is real but it won’t fix physics”, *Medium*, 1-02-2018.

27- Autor de *Qué es la física cuántica*, Buenos Aires, Paidós, 2014.

28- Lo dicen en la penúltima frase de su libro *The large scale structure of space-time*, Cambridge, Cambridge University Press, 1973.

29- Susskind (conocido como “el chico malo de la Física”) también se hizo famoso en los medios masivos por su polémica con Hawking, porque afirmaba que al evaporarse un agujero negro la información que este contenía se pierde definitivamente, lo que va en contra de las leyes de la mecánica cuántica. Finalmente Hawking terminó aceptando, luego de discusiones de casi treinta años, que estaba errado y que la teoría que había construido Susskind durante todos esos años era correcta.

30- S. Hawking, “The beginning of time”, disponible en: <www.hawking.org.uk/the-beginning-of-time.html>.

31- N. Bär, “¿Por qué es el ser y no más bien la nada?”, *La Nación*, 15-08-1999.

32- N. Bär, “El universo se comporta de maneras rarísimas”, ob. cit.

33- Cit. en S. Soter y N. de Grasse Tyson (eds.), *Cosmic horizons: astronomy at the cutting edge*, Nueva York, New Press, 2000.

CAPÍTULO 2

¿QUÉ HAY EN EL 96% DEL UNIVERSO?

El 24 de febrero de 2014, el neurólogo Oliver Sacks, eximio cronista de las rarezas humanas, se despidió de la vida con un texto íntimo y conmovedor: “Hace un mes sentía que gozaba de buena salud, incluso diría que era formidable –escribió en *The New York Times*–. A mis 81 años, aún nado un kilómetro y medio diario. Pero la buena suerte me ha abandonado. Hace unas semanas me informaron que tengo metástasis múltiples en el hígado. Hace nueve años descubrieron que tenía un tumor poco común en el ojo, un melanoma ocular. Si bien la radiación y el láser lograron eliminarlo, quedé ciego de ese ojo. Este tipo de tumores muy rara vez produce metástasis, pero parece que pertenezco al desafortunado 2% de los casos en que sí sucede.”(34)

A continuación, evocaba las emociones de una existencia plena y afirmaba que, en el tiempo que le restaba, esperaba estrechar amistades, decir *adiós* a los que amó, escribir, viajar y alcanzar nuevos niveles de entendimiento y aprendizaje. “He podido ver mi vida como desde una gran altura –escribe–, como si fuera una especie de paisaje, y cada vez me siento más conectado con cada una de sus partes.”

Entre los deseos que transmite a sus amigos más cercanos, figura uno que emociona. Pide que sus últimos momentos transcurran bajo el esplendor del “polvo de estrellas” neoyorquino. “Lo último que deseo ver antes de dejar este mundo es la belleza del cosmos”, dice.

Sin duda, debe haber pocas cosas que iguallen la magnificencia de ese océano infinito tachonado de luces y agitado por fuerzas inimaginables que, sin embargo, percibimos como una serenidad sin comienzo ni fin. Por eso, cuesta aceptar que esas gemas de colores iridiscentes, los cúmulos de galaxias que nos dejan boquiabiertos en las imágenes capturadas por el telescopio espacial Hubble, sean apenas el 4% del universo, y que el 96% de la materia y la energía restantes sean invisibles no solo para nuestros ojos, sino también para

los más poderosos detectores de nuestros observatorios, algunos de los cuales son capaces de registrar una deformación infinitesimal equivalente ¡al tamaño de un átomo en la distancia de la Tierra al Sol! o escuchar el murmullo surgido a 1300 millones de años luz de distancia cuando dos agujeros negros se fusionan en un abrazo salvaje, como ocurrió con los que captaron las primeras ondas gravitacionales cien años después de que hubieran sido previstas por Einstein en su teoría de la relatividad general.

Resulta difícil de aceptar pero, al parecer, la mayor parte del universo está llena de “algo” que astrónomos y astrofísicos no pueden explicar y cuya naturaleza están tratando de desentrañar desde hace décadas: materia y energía “oscuras” diferentes de las que tan bien describe el modelo estándar de la física (es decir, la teoría que describe la estructura fundamental de la materia y el vacío, y el comportamiento de las partículas elementales).

La existencia de estas entidades inasibles fue propuesta por primera vez por el célebre astrónomo holandés Jan Oort, pionero de la radioastronomía, pero más conocido por la nube de cometas que lleva su nombre, y por su colega suizo de origen húngaro, Fritz Zwicky, un personaje que sus biógrafos consideran *inclasificable*. (35) Ellos realizaron uno de los descubrimientos más espectaculares del siglo XX pero, como ocurrió por ejemplo con las teorías de Mendel, cuyos trabajos sobre las leyes de la herencia quedaron arrumbados en una oscura revista científica de la ciudad de Brno, no se los tomó en serio durante cuarenta años. (36)

En 1932, Oort se dio cuenta de que las velocidades de las estrellas en nuestro vecindario galáctico eran demasiado altas para que su movimiento se atribuyera únicamente a la influencia gravitacional de la materia emisora de luz. “Él observó que tenían una velocidad que era mayor a la ‘de escape’, que se calculaba usando la masa total de la galaxia”, cuenta Javier Tiffenberg, (37) un joven investigador argentino que trabaja en el Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), en Chicago. Es decir, que faltaba “algo”. Al año siguiente, fue Zwicky quien hizo un análisis similar usando la velocidad de las galaxias en el cúmulo de Coma (un grupo de estas estructuras estelares unido gravitatoriamente), en el que estas ocupaban el lugar de las estrellas en el trabajo de Oort, y publicó un *paper* con una hipótesis desconcertante: concluyó que había algo que no veía y que estaba ejerciendo una fuerza que las separaba unas de otras.

La física clásica nos dice que la atracción gravitatoria de la materia dentro de un cúmulo estelar compite con la energía cinética (la que poseen por su

movimiento) de las estrellas. Si la masa es demasiado baja, la atracción gravitacional del cúmulo no evitará que las aleje unas de otras. Pero, basándose en sus mediciones de la velocidad de las estrellas, Zwicky calculó que la cantidad de masa requerida para que el grupo se mantuviera unido era cuatrocientas veces mayor que la contribución de la masa luminosa (la materia que emite luz) que él había medido. Para dar cuenta de esa materia que faltaba en sus cuentas, Zwicky propuso la existencia de lo que llamó *dunkle Materie*, “materia oscura” en alemán. (38)

La tesis pareció descabellada y la materia oscura se mantuvo literalmente oculta durante décadas. Hay que adelantar el calendario hasta los años setenta, cuando los astrónomos que medían las velocidades de las galaxias empezaron a registrar insistentemente este misterioso efecto, para que lograra ocupara un lugar destacado entre los temas que se consideraban dignos de atención. Fue en esos años cuando Vera Rubin, una astrónoma de la Institución Carnegie, de Washington, convirtió la intuición de estos pioneros en un descubrimiento sensacional.

Rubin se había sentido atraída por la ciencia desde chica, pero a medida que avanzaba en sus estudios se dio cuenta de que su gran pasión, la astrofísica, era un campo vedado para las de su género. Nacida en Filadelfia en 1928, fue la única mujer graduada en Astronomía en el Vassar College en 1948 y no pudo hacer el doctorado en Astronomía de Princeton simplemente porque en esos días solo aceptaban hombres. Finalmente, combinando trabajo, ciencia y crianza de hijos, lo obtuvo en la Universidad de Georgetown. (39)

Pero las cosas no fueron fáciles para ella. Su tesis fue rechazada porque intentaba incurrir en un terreno que dominaban otros. Así fue como, después de recibir su título de posgrado, decidió abocarse a un campo de investigación que en ese momento era poco transitado: las velocidades orbitales de las estrellas. Fue un golpe de inspiración que la conduciría al hallazgo de su vida. Sus cálculos le mostraron que la gran espiral de la galaxia tenía una rotación extraña: las estrellas de los bordes se movían tan rápido como las del centro, algo que viola las leyes del movimiento de Newton (que establecen que los cuerpos se mueven más lentamente a medida que se alejan del centro galáctico y también regulan cómo giran los planetas alrededor del Sol).

Junto con un colaborador, Kent Ford (que había desarrollado *espectrómetros*, instrumentos para medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético), comprobó que las velocidades de rotación eran prácticamente las mismas a cualquier distancia.

La única explicación que se le ocurrió era que existiera algún tipo de materia invisible, que aún no había sido considerada y ayudaba a estabilizar las estrellas lejanas para que se desplazaran mucho más rápido de lo esperado. De hecho, más tarde se pudo calcular que, sin esa contribución adicional, las estrellas con las velocidades que habían medido deberían haber salido despedidas hacia afuera de la galaxia.

La notable deducción que surge de sus cálculos, y de muchos otros que los confirmaron, es que la materia ordinaria, esa que hoy nos extasía en las fotos de los observatorios y detectan nuestros sensores más precisos, representa solo una sexta parte de la masa requerida para mantenerlas en órbita. Rubin había encontrado la primera evidencia de la existencia de materia oscura. (40)

Pero a pesar del valor de su trabajo y de sus descubrimientos, la brillante astrofísica murió el 25 de diciembre de 2016, a los 88 años, sin el Premio Nobel que muchos creían que merecía. Incluso hubo campañas para pedir que se lo adjudicaran, como la que organizó una de sus compañeras, Chanda Prescod-Weinstein, para que ningún hombre aceptara la distinción antes de que se lo otorgaran a ella, pero no hubo caso.

“La existencia de la materia oscura cambió radicalmente nuestro concepto del universo y todo su campo de estudios. El esfuerzo para entender su importancia generó diversos subcampos de investigación en astrofísica y en física de partículas. Alfred Nobel afirmaba que el premio debería reconocer ‘el descubrimiento más importante’ en esa área. Si la materia oscura no encaja en ese requisito, no sé qué encajaría”, afirmó, no hace mucho, Emily Levesque, del Departamento de Astronomía de la Universidad de Washington. (41)

A partir de entonces, múltiples mediciones respaldaron los hallazgos de Rubin y Ford, y los astrofísicos teóricos pusieron manos a la obra para explicar qué era esta misteriosa protagonista de la trama cósmica. “Ahora eso está siendo replicado en todo tipo de situaciones, ocurre en cada galaxia y cúmulos de galaxias que se observan: se necesita cinco veces más materia de la que se ve para que se comporten del modo en que lo hacen”, dice Andrew Pontzen, del University College de Londres. (42)

“Por las leyes de Newton, uno puede hacer un gráfico de la velocidad a la que los planetas orbitan en el sistema solar en función de la distancia a un punto. Ahora, si uno hace lo mismo con una galaxia, que puede hacerlo perfectamente, y registra la velocidad de rotación de las estrellas alrededor del centro, uno esperaría que ‘cayera’ de la misma manera. Pero lo que se

observa es que se mantiene absolutamente constante. Y esto es precisamente lo que uno esperaría si considera que la cantidad de materia que hay no está ubicada en un punto en el interior de la galaxia, sino que es una bola más grande que toda la galaxia. También, cuando dos cúmulos de galaxias chocan, se observa que todo el efecto gravitacional está situado en lugares distintos de donde está el gas que forma parte de las nubes interestelares”, dice Tiffenberg. (43)

Otra evidencia de la existencia de la materia oscura es la que se obtiene cuando se toman fotos de una pequeña porción del universo. La luz se desvía en un ángulo que depende de la masa de las galaxias. (44) Haciendo algunas cuentas se ve que, para que se quiebre de la forma en que lo hace, es necesario que esa región tenga más del 90% de la masa que se observa. Por lo tanto, hay masa que *tiene* que estar ahí, que interactúa con la luz, pero que no estamos viendo. (45)

RESULTA DIFÍCIL DE ACEPTAR PERO, AL PARECER, LA MAYOR PARTE DEL UNIVERSO ESTÁ LLENA DE “ALGO” QUE ASTRÓNOMOS Y ASTROFÍSICOS NO PUEDEN EXPLICAR Y CUYA NATURALEZA ESTÁN TRATANDO DE DESENTRAÑAR DESDE HACE DÉCADAS: MATERIA Y ENERGÍA “OSCURAS”.

Hoy se cree que la materia oscura desvía el camino de los rayos de luz que llegan hasta nosotros desde objetos distantes, afecta la expansión del universo y las órbitas de las estrellas alrededor de los centros de las galaxias, entre muchos otros fenómenos. O, al menos, los investigadores registran efectos gravitatorios que no explican las teorías vigentes. La hipótesis más plausible que pudieron esbozar es que se trata de una forma de materia que no interactúa con la materia común, que no emite luz y cuya presencia solo puede ser inferida a partir de los efectos gravitacionales que provoca sobre la materia visible, como las estrellas, las galaxias y los cúmulos de galaxias. Es como el viento que sopla y cuya presencia solo podemos advertir por el movimiento de las hojas caídas o de las ramas de los árboles. (46)

Casi cuatro décadas después de la observación de Rubin, se sabe que dicha materia integra la mayor parte del universo, pero no de qué está hecha. Se

piensa que sus partículas invisibles atraviesan todo el cosmos y afectan la forma en que las estrellas se mueven dentro de las galaxias y cómo estas se atraen mutuamente. Y también se cree que esta materia “fantasmal” habría actuado durante la formación del universo. (47) Sin duda, esta es una de las grandes incógnitas de la ciencia actual.

Habíamos dicho que observamos el 4% del universo. Si, como plantean muchos científicos, le podemos atribuir un 25% a la materia oscura, todavía sigue faltando un 70% más de “algo”. En efecto, para los cosmólogos, no solo no sabemos dónde está ni qué es el 25% de la masa, sino que aún hay mucho más. A ese más es a lo que llaman *energía oscura*.

Recapitemos. Según la teoría de la relatividad general de Einstein, la gravedad (al ser atractiva) debería conducir a una desaceleración de la expansión cósmica. Sin embargo, en 1998, dos equipos de astrónomos que estudiaban supernovas lejanas descubrieron que la expansión del universo, en lugar de hacerse más lenta, se aceleraba. Para explicarlo, los cosmólogos ahora se enfrentan a una apasionante disyuntiva: o el 70% del universo existe en una forma exótica, algo así como una fuerza opuesta a la gravedad (energía oscura), o hay que reemplazar la relatividad general por una nueva teoría que funcione en escalas cósmicas. Por ahora, la mayoría vota a favor de la energía oscura.

Uno de los proyectos que intenta resolver este misterio es el Dark Energy Survey (DES) liderado por el Fermilab. El DES es un esfuerzo descomunal que comenzó a rastrear los cielos el 31 de agosto de 2013. Se trata de una iniciativa que involucra a decenas de centros de investigación y se inscribe en la categoría de Big Science, proyectos, como la cacería del bosón de Higgs (pintorescamente apodado *la partícula de Dios* porque es la que confiere su masa a todas las demás partículas integrantes del zoológico subatómico). La meta del DES es cartografiar cientos de millones de galaxias, detectar miles de supernovas y encontrar patrones de estructura cósmica que permitan revelar la naturaleza de la fuerza oscura que estaría acelerando la expansión de nuestro universo. En 2016, el DES publicó un mapa con veintiséis millones de galaxias (48) que representa la distribución heterogénea de la materia oscura en una franja de miles de millones de años luz de extensión.

El programa fue diseñado para sondear el origen del universo y ayudar a descubrir la naturaleza de la energía oscura mediante la medición precisa de la historia de la expansión cósmica a lo largo de catorce mil millones de años. Reúne a más de cuatrocientos científicos de una treintena de instituciones de

Estados Unidos, España, Reino Unido, Brasil, Alemania, Suiza y Australia. Para sus estudios, utilizan una cámara digital extremadamente sensible, de 570 megapíxeles, que pesa 8 toneladas, cuesta 50 millones de dólares y está montada en el telescopio Víctor Blanco, ubicado en el Observatorio Interamericano Cerro Tololo, a 80 kilómetros de la ciudad de La Serena, en el norte de Chile, y a alrededor de 2200 metros de altura sobre el nivel del mar, en la Cordillera de los Andes. “Con este telescopio descubrimos el 70% del universo”, bromea Chris Smith, el director del observatorio.(49)

La velocidad de las galaxias se mide utilizando una propiedad de las ondas conocida como *efecto Doppler*, fácil de observar en la física del sonido. (50) Cuando el conductor de un auto que se acerca hacia nosotros toca la bocina, desde dentro del vehículo el sonido se escucha en un tono constante, pero para nosotros pasa de las frecuencias altas a las bajas. Esto ocurre porque el sonido es una sucesión de ondas en el aire: cuanto más juntas están, más agudo resulta el tono y, cuanto más separadas, más grave. Si el coche se aleja a gran velocidad, estira las ondas, desplazándolas hacia un tono más grave. En cambio, si viene hacia nosotros, el tono es más agudo. Algo similar sucede con la luz, que también es una onda, pero a diferencia del sonido puede propagarse en el vacío. La luz de un objeto que se nos acerca a velocidades muy altas adquiere tonalidades hacia el azul y la de los que se alejan de nosotros, tienden al rojo. A este efecto se lo conoce como *corrimiento al rojo*.

Hace casi un siglo, Edwin Hubble y Vesto Slipher, con la ayuda de las dotes sobresalientes de un joven arreador de mulas que se convertiría en una personalidad de la astronomía, Milton Humason, (51) analizando la luz de llegada de galaxias lejanas y su corrimiento al rojo mostraron que cuanto más lejos están, más rápido se alejan de nosotros, con una velocidad de recesión proporcional a la distancia. Lo descubrieron utilizando el telescopio de Monte Wilson que en su momento fue el más grande del mundo destinado a estudiar el desplazamiento al rojo de galaxias remotas.

Esta denominada *ley de recesión de Hubble* es universal: todas las galaxias en el universo se alejan entre sí a una velocidad proporcional a la distancia; es decir que el universo se está expandiendo. Es como un globo que se infla o, como indica la hoja de presentación del proyecto DES, como una lámina de goma con una cuadrícula impresa, con galaxias que ocupan puntos en la cuadrícula. A medida que la hoja se extiende con la expansión, el tamaño de los cuadrados de la cuadrícula aumenta. Como resultado, dos puntos fijos en la cuadrícula se alejan uno del otro con una velocidad relativa que es

proporcional a la distancia entre ellos. Con el tiempo, habrá más y más espacio entre las galaxias, lo que sugiere que el futuro del universo será frío y solitario.

A principios del siglo XX, Albert Einstein preparó el escenario para la cosmología moderna: demostró que cualquier cosa que tenga masa (o energía) deformará el espacio-tiempo, aunque sea levemente, y, a su vez, que ese espacio-tiempo deformado cambiará las trayectorias de las partículas que viajan a través de él. Aplicada al universo como un todo, la teoría de Einstein relaciona la tasa de expansión cósmica con la masa y la energía de todas las cosas. Como las galaxias sienten el “tirón” gravitacional de sus vecinas, esperaríamos que la expansión se desacelerara con el tiempo.

Pero en 1998, el descubrimiento de estos dos equipos de astrónomos que estudiaban estrellas en explosión los dejó estupefactos: la expansión no solo *no* se desaceleraba, sino que se aceleraba. Llegaron a esta conclusión estudiando un tipo particular de supernova, llamado *Ia*, que alcanza su brillo máximo dos o tres semanas después de la explosión y luego se desvanece durante unos meses. Son explosiones de estrellas enanas blancas, que poseen la masa del Sol pero el tamaño de la Tierra, que durante unas semanas pueden emitir tanta luz como una galaxia entera. Estas supernovas poseen la notable propiedad de que, tras considerar las diferencias en sus colores y las velocidades a las que se desvanecen, todas tienen casi el mismo brillo máximo. Así, pueden utilizarse como un patrón de distancia para calcular aproximadamente cuánto tiempo tarda su luz en llegar a la Tierra. Lo que los dos equipos de astrónomos encontraron fue que las supernovas que explotaron cuando el universo tenía aproximadamente dos tercios de su tamaño actual eran un 25% más débiles de lo que se esperaba si la expansión se desacelerara. El descubrimiento fue tan trascendente que sus protagonistas, Saul Perlmutter, Adam Riess y Brian Schmidt, recibieron el Premio Nobel de Física en 2011.

“Einstein decía que ‘lo más incomprensible del universo es que sea comprensible’.” (52) Esa perturbadora sensación de asombro e incredulidad es la que deben haber sentido estos científicos cuando –al contrario de lo que esperaban– sus observaciones indicaron que el universo se está expandiendo cada vez más rápido.

Los trabajos publicados en 1998 por el Supernova Cosmology Project Team, liderado por Perlmutter en la Universidad de California en Berkeley y por el High Z Supernova Search Team, a cargo de Schmidt en la Universidad

Nacional de Australia en Weston Creek, y cuyo primer autor fue Riess, de la Universidad Johns Hopkins, abrieron un nuevo capítulo de la cosmología y pusieron en tela de juicio las bases mismas de la física: los investigadores llegaron a la conclusión de que una fuerza, más tarde llamada *energía oscura*, cuya naturaleza todavía no se ha terminado de comprender y que al parecer surgiría de la nada, contrarresta la gravedad y conduce al universo hacia la disgregación.

“Estoy totalmente sorprendido por el premio y también nos asombramos por los resultados de nuestro estudio”, dijo Schmidt a las agencias de noticias. “Al principio creímos que era un error”, coincidió Riess, que al momento del descubrimiento tenía menos de 30 años.

Lo singular del caso es que ambos grupos intentaban medir cómo se estaba desacelerando la expansión del universo luego de su flamígero nacimiento con un *Big Bang*, hace trece mil setecientos millones de años, pero llegaron a la conclusión opuesta. “Esa era la opinión general, simplemente porque la gravedad es atractiva. Entonces, si el universo se está expandiendo y todas las cosas se atraen entre sí, esa expansión debería ir desacelerándose –comentó cuando se divulgó la noticia del Nobel el físico argentino Matías Zaldarriaga, que trabaja en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton–. Pero aparentemente el cosmos está lleno de algo que en principio podría ser una propiedad del vacío (que de acuerdo con la física cuántica nunca está totalmente vacío) y que sería lo que acelera su expansión.”

“Básicamente, encontramos que el universo se expande hoy más rápido que en la época en que nació el sistema solar, y que los objetos se alejan a una velocidad proporcional a su distancia; es decir, que cuanto más lejos están, más rápido se alejan”, agregó el astrofísico argentino Alejandro Clocchiatti, nacido en San Nicolás, profesor de la Universidad Católica de Santiago de Chile y uno de los cincuenta y un científicos que firman los trabajos premiados con el Nobel. La investigación, en apariencia sencilla, fue en realidad todo un desafío. En el universo visible se producen alrededor de diez de estas supernovas por minuto. Pero el cosmos es inmenso y en una galaxia típica solo aparecen una o dos por milenio. Además, tenían que detectarlas en las semanas en que mantenían su máximo brillo. Asimismo, el estudio era de enorme complejidad logística porque requería gran disponibilidad de los mejores telescopios del mundo y el análisis de montañas de datos que ningún *software* de la época era capaz de procesar. Pero, a pesar de todas estas dificultades, lograron localizar unas cincuenta.

Según detalló Matías Zaldarriaga, los galardonados compararon dos propiedades de la luz que llegaba desde esas explosiones estelares: por un lado, el corrimiento al rojo –el efecto de la velocidad a la que se mueven– y, por el otro, la intensidad. Usando supernovas que están cada vez más lejos, pudieron medir la velocidad en distintos momentos y comparar las que están muy distantes con otras más cercanas. Así, encontraron que el universo no se desacelera ni mucho ni poco, sino que se acelera. Para entenderlo, Clocchiatti propuso una sencilla operación de sentido común: teniendo en cuenta que, según la Segunda Ley de Newton, “fuerza es igual a masa por aceleración”, si hay una aceleración y hay una masa, quiere decir que hay una fuerza. ¿Pero cuál?

Según las hipótesis actuales, esta fuerza sería la energía oscura, algo así como una nueva versión de la *constante cosmológica* que Einstein introdujo en su teoría de la relatividad general para equilibrar la fuerza de gravedad. “Él quería un universo eterno y siempre igual, en el que la fuerza atractiva de la materia común se contrapusiera con la expansiva –dijo Zaldarriaga–. Hoy creemos que después del *Big Bang* vino una época de inflación y luego el período dominado por la materia: luz, átomos, etc. Hasta estos descubrimientos, todos pensaban que, como el cosmos estaba lleno de partículas comunes, se iba desacelerando. Pero resultó que no. Y desde entonces esto fue medido con mucha precisión por otros métodos. De modo que no tenemos idea de qué es el 95% del cosmos –bromeó–. Estos hallazgos cambiaron totalmente la cosmología y nos dejaron más problemas que soluciones. Sus implicancias son enormes.”

Los astrofísicos especulan con que, durante gran parte de la historia cósmica, la materia predominó por sobre la energía oscura y la expansión se hizo más lenta. Esto permitió que se formaran galaxias y estructuras en gran escala. Pero hace varios miles de millones de años, la materia se diluyó y la energía oscura se convirtió en el componente dominante del universo. Esa fuerza es la que estaría pisando el acelerador de la expansión.

Pero volvamos por un instante a la materia oscura. Una de las preguntas que tortura a los investigadores es de qué está hecha y una respuesta posible es “de partículas”, partículas que, a diferencia de las que conforman la materia habitual, no dejan ninguna traza visible. Dado que casi no interactúan con nada, durante algún tiempo los *neutrinos* (término acuñado por Enrico Fermi que significa “pequeño neutrón”) fueron los candidatos más votados para ser los mensajeros de la materia oscura. Aunque no podemos verlos ni sentirlos,

se desplazan por el universo a una velocidad cercana a la de la luz. Como explica Fidel Schaposnik, “el flujo de neutrinos solares que llega a la superficie de la Tierra es del orden de unos 100.000.000.000 por centímetro cuadrado por segundo. Es más, dado que el cuerpo humano contiene unos 20 gramos de potasio 40, una sustancia radiactiva que emite radiación beta, cada uno de nosotros emite 340 millones de neutrinos por día”. (53) Y agrega que el hecho de que “transcurrieran casi veinticinco años para que se confirmara experimentalmente y de manera directa la existencia de los neutrinos no se debió a la haraganería de los físicos. Como tampoco lo fue el que debieran pasar otros veinticinco años para que se pudiera afirmar que tienen una masa no nula. La razón de estas tardanzas se debió a la muy pequeña posibilidad de que un neutrino interactúe con la materia: sería necesario un bloque de plomo de una longitud de aproximadamente 9.460.000.000.000 kilómetros para detener la mitad de los neutrinos que lo atravesaran. Es por ello casi imposible construir un detector capaz de determinar su masa”.

SEGÚN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL DE EINSTEIN, LA GRAVEDAD (AL SER ATRACTIVA) DEBERÍA CONDUCIR A UNA DESACELERACIÓN DE LA EXPANSIÓN CÓSMICA. SIN EMBARGO, EN 1998, DOS EQUIPOS DE ASTRÓNOMOS [...] DESCUBRIERON QUE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO, EN LUGAR DE HACERSE MÁS LENTA, SE ACELERABA.

Esta intangibilidad los hacía muy promisorios como respuesta a cuáles son los constituyentes de la materia oscura, pero hoy los físicos de altas energías prácticamente los descartaron, entre otras cosas, porque tienen muy poca masa. Ahora ensayan experimentos difícilísimos, realizados a decenas y hasta cientos de metros bajo las rocas para evitar cualquier tipo de interferencia que impida detectar la elusiva materia oscura. Es lo que ocurre, por ejemplo, en el Gran Sasso, Italia; en la mina de oro abandonada Homestake, en Dakota del Sur, Estados Unidos; en el detector LUX de Gran Bretaña; en el Soudan Underground Laboratory de Minnesota, una antigua mina de hierro; en la mina de zinc Mozumi de Japón, a 1100 metros de profundidad, la instalación física más profunda del mundo; y lo que planean hacer en un laboratorio que se

instalará 1750 metros debajo de las rocas de la cordillera que separa Chile y la Argentina, en el túnel de Aguas Blancas, una ruta subterránea de 14 kilómetros de largo que formará parte del corredor bioceánico pensado para abrir una ruta comercial entre el Atlántico y el Pacífico, del Proyecto Andes. Este será el laboratorio internacional subterráneo más importante del hemisferio Sur, ya que su blindaje natural permitirá reducir la radiación cósmica un millón de veces y protegerá los experimentos. Para asegurar la precisión de los detectores, los científicos, que ya están trabajando en su desarrollo, piensan construirlos con cobre de máxima pureza y ladrillos de plomo extraído de barcos hundidos en el Mediterráneo hace más de dos mil años cuyo componente radiactivo haya decaído.

También los planetas y las estrellas enanas marrones fueron propuestos como posible solución al problema. De acuerdo con esta idea, los centros de las galaxias y los halos esféricos que las rodean albergarían grandes cantidades de unos objetos que denominan *MACHO*, acrónimo en inglés de *massive compact halo object* (objetos compactos masivos del halo). Estos astros generarían la atracción gravitatoria que hace falta para explicar el extraño movimiento de las estrellas y el gas en los suburbios de las galaxias. Sin embargo, esta hipótesis fue descartada porque presenta inconsistencias con otras observaciones.

Por su parte, dos físicos del proyecto Euclid de la Agencia Espacial Europea, (54) que se propone estudiar el universo oscuro, sugieren algo aún más desconcertante: que la masa que parece faltar en los cúmulos de galaxias corresponde a agujeros negros primordiales (es decir, formados muy pronto después del *Big Bang*).

Otros están tratando de producir materia oscura en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus sigla en inglés), la colaboración internacional que ya recibió un Nobel por haber descubierto el bosón de Higgs varias décadas después de que Peter Higgs propusiera su existencia. “Nuestra principal idea es que la materia oscura está hecha de nuevas partículas masivas débilmente interactuantes (llamadas *WIMP*, por sus sigla en inglés, o *WIMP-like*, que significa ‘similares a las *WIMP*’); por eso su búsqueda como candidatas a materia oscura son una parte importante tanto del programa actual de la física del LHC, como de lo que planeamos a futuro”, me cuenta María Teresa Dova, física de la Universidad Nacional de La Plata y una de las representantes argentinas en el experimento Atlas del LHC, donde se descubrió el bosón de Higgs. “Me atrevo a decir que hoy, la idea aceptada por los físicos de altas

energías y los astrofísicos es que la materia oscura está hecha de partículas no contenidas en el modelo estándar, que son masivas, estables, neutras y que no interactúan fuertemente.”

Dova me explica que están explorando varias posibilidades: “Combinando algunas pocas ideas de la física que pueden conectar el modelo estándar con el ‘sector oscuro’ –detalla–, ideamos búsquedas muy sensibles, de manera lo más independiente posible de los modelos teóricos. Como estas partículas son invisibles para el detector por sus características de interacción, entonces seleccionamos eventos entre los datos recolectados en relación con alguna partícula conocida y ‘vemos’ los candidatos a materia oscura como energía perdida en ese mismo evento. Otros modelos proponen, por ejemplo, que en las colisiones del LHC se produzca alguna partícula conocida acompañada de una nueva partícula que ‘decae’ en partículas de materia oscura. Así, en el estado final, uno tendría otra vez alguna partícula conocida del modelo estándar y energía perdida. Otra posibilidad es encontrar candidatos a materia oscura en el contexto de la ‘supersimetría’ (también conocida por su acrónimo, SUSY, una simetría hipotética que podría relacionar las propiedades de los bosones [mediadores de las interacciones] y los fermiones [como quarks y electrones], los dos tipos básicos de partículas que existen en la naturaleza). En esto, realizamos varias búsquedas con mi grupo de La Plata porque me parecen geniales”. Y agrega: “Estos modelos incluyen partículas como los ‘gravitinos’ (‘súper compañeros’ del gravitón), y ‘neutralinos’ (mezclas de súper compañeros del fotón, del bosón Z y del Higgs), todos excelentes candidatos a materia oscura”.

A pesar de que los físicos llevan varias décadas de soportar una frustración tras otra en esta búsqueda, Dova es optimista: “Con todos los estudios que hicimos cada vez con mayores niveles de energía, todavía no hemos descubierto estas nuevas partículas, pero fuimos capaces de poner límites muy rigurosos que nos permiten (como hicimos con el Higgs) ir reduciendo el ‘espacio observable’ donde ellas pueden manifestarse. Los nuevos *papers* en este tema van a incluir datos hasta fin de este año, de modo que los tendremos para 2019, y ¡ojalá veamos indicios de alguno de estos candidatos!”.

Para las investigaciones que están planeando para el futuro, con más energía del LHC, que correrá a 14 teraelectronvoltios (TeV), y más “luminosidad” (número de colisiones que se producen por centímetro cuadrado por segundo), los científicos que trabajan en los experimentos ATLAS y CMS, del LHC, colaborando con físicos teóricos, intentan definir de

manera conjunta cómo acometer las búsquedas. “Por ahora, estos estudios están focalizados en candidatos del tipo WIMP, pero hay otros... Por ejemplo, ¿axiones?”, o sea, partículas hipotéticas, débilmente interactivas, postuladas por primera vez en 1977 para explicar y resolver asimetrías misteriosas en las interacciones cuánticas.

Mientras tanto, como si jugara con los sabuesos que van detrás de sus huellas, el cosmos sigue desafiando todos los esfuerzos de la comunidad científica. A pesar de que se supone que la materia oscura está en todas partes, el astrónomo Pieter van Dokkum y sus colegas de la Universidad de Yale descubrieron una región con relativamente pocas estrellas donde lo que se ve es todo lo que existe. Sus estrellas giran aparentemente sin influencia alguna de la materia oscura. (55)

Con el telescopio Dragonfly (libélula), instalado en Nuevo México, los telescopios de Hawái y el Hubble, los astrónomos estudiaron una galaxia del tamaño de la Vía Láctea, pero con el 1% de sus estrellas, llamada *NGC1052-DF2*. Calcularon la velocidad de su desplazamiento y se llevaron una sorpresa: si tuviera una cantidad normal de materia oscura, su velocidad sería de 108.000 kilómetros por hora, pero sus cúmulos de estrellas se desplazan a 28.000 kilómetros por hora, una velocidad correspondiente a la ausencia total de materia oscura. Los investigadores todavía están intentando entender qué significa este hallazgo.

Rubin recibió importantes premios y fue incorporada a la Academia Nacional de Ciencias de su país, pero siempre estuvo más allá de los honores y se anticipó a lo que vendría: “Espiamos dentro de un nuevo mundo – escribí– y vimos que es más misterioso y más complejo de lo que habíamos imaginado. Todavía muchos de esos misterios permanecen ocultos. Esos descubrimientos esperan a los audaces científicos del futuro. Me gustaría que así fuera”.

34- O. Sacks, “My own life”, *The New York Times*, 19-02-2015. Las traducciones de fuentes en idioma extranjero me pertenecen.

35- En efecto, tuvo ideas extravagantes. Por ejemplo, en 1948, propuso convertir en habitables otros planetas cambiando su órbita alrededor del Sol para ajustar la temperatura en su superficie.

36- L. Randall, *Dark matter and the dinosaurs: the astounding interconnectedness of the*

universe, Londres, Vintage Books, 2015 [ed. cast.: *La materia oscura y los dinosaurios: la sorprendente interconectividad del universo*, Barcelona, Acantilado, 2016].

37- N. Bär, “Javier Tiffenberg: ‘El 96% del universo es invisible a nuestros instrumentos’”, *La Nación*, 10-04-2015.

38- *Ibíd.*

39- J. Oliveira, “Vera Rubin y la materia oscura”, *Open Mind*, 25-12-2017.

40- *Ibíd.*

41- Cit. en *ibíd.*

42- Cit. en H. Devlin y M. Sanderson, “Big unknowns: What is dark matter?”, *The Guardian*, Science Weekly podcast, 22-11-2016.

43- N. Bär, “Javier Tiffenberg: ‘El 96% del universo es invisible a nuestros instrumentos’”, *ob. cit.*

44- Se trata de un efecto denominado *lentes gravitacionales*, que se produce cuando la luz procedente de objetos distantes y brillantes se curva alrededor de un objeto masivo situado entre el objeto emisor y el receptor. Fueron predichas por la teoría de la relatividad general de Einstein y se probaron durante un eclipse, en 1919, cuando Arthur Eddington registró cómo se curvaba la trayectoria de la luz proveniente de estrellas distantes al pasar cerca del Sol.

45- M. Gamboa, “El lado oscuro del universo”, *El Gato y la Caja*, 6-11-2017.

46- ¿Cómo está distribuida la materia oscura? Según Tiffenberg, en la escala galáctica, tiene una distribución aproximadamente esférica centrada en el núcleo de la galaxia (que los científicos llaman *halo*), con densidad máxima en el centro, pero que se extiende más allá del tamaño de la galaxia que acompaña. Si se observa en una escala más grande, la materia oscura se organiza en una estructura de filamentos. Esta superestructura se conoce normalmente como *cosmic web* (red cósmica) y es producto de la interacción gravitatoria que operó durante la evolución del universo.

47- En palabras de Javier Tiffenberg, en sus primeros momentos, “el universo era una sopa en la que los fotones se emitían e inmediatamente interactuaban con alguna otra partícula. Por esa razón no nos es posible obtener ninguna información de esa época. Al continuar la expansión, la temperatura del universo se redujo lo suficiente para que, en un momento, se formaran los átomos, la probabilidad de interacción de los fotones con la materia se redujo en órdenes de magnitud y el universo se volvió transparente para la luz. Los fotones producidos justo antes de este cambio de fase ahora son capaces de viajar distancias (y tiempos) gigantes con una probabilidad mínima de ser perturbados. Esos fotones son la ‘radiación de fondo de microondas’, que están viajando por el universo y nos traen una ‘foto instantánea’ de la distribución de energía y materia en el momento en que el universo se volvió transparente. Esta información nos da el ‘estado inicial’ que utilizamos para calcular la evolución del universo usando simulaciones en supercomputadoras. El otro ingrediente que usamos en esas simulaciones es la cantidad de materia oscura. Al evolucionar estos

universos simulados hasta el momento que corresponde al presente podemos ver que contenidos de materia oscura producen un resultado que es consistente con el universo que observamos. De estas simulaciones también podemos ver cómo es el proceso de formación de galaxias (y de cúmulos de galaxias). Lo que se observa es que la materia ordinaria se acumula en los pozos de gravedad generados por la materia oscura. Estas acumulaciones de materia ordinaria dan origen a las galaxias”.

48- “Dark Energy Survey reveals most accurate measurement of dark matter structure in the universe”, *Fermilab*, 3-08-2017.

49- Cit. en M. Ansele y L. M. Rivas, “Aquí descubrimos el 70% del universo”, *El País*, 30-11-2017.

50- C. Sagan, *Cosmos*, Barcelona, Planeta, 1982.

51- *Ibíd.*

52- N. Bär, “Descubrieron un enigma del cosmos”, *La Nación*, 5-10-2011.

53- F. A. Schaposnik, *Qué es la física cuántica*, Buenos Aires, Paidós, 2014.

54- J. García-Bellido y S. Clesse, “Agujeros negros primordiales y materia oscura”, *Investigación y Ciencia*, nº 492, septiembre de 2017.

55- P. van Dokkum, S. Danieli y otros, “A galaxy lacking dark matter”, *Nature*, nº 555, marzo de 2018, pp. 629-632.

CAPÍTULO 3

¿QUÉ PASA SI NOS CAEMOS EN UN AGUJERO NEGRO?

Bienvenidos al país de Nunca Jamás: un agujero negro, un territorio fantástico, un abismo en el cosmos donde las leyes de la física se desvanecen. Una catarata que interrumpe el curso del río del tiempo. Una grieta en el espacio. Un portal a un mundo misterioso cuya gravitación es tan fuerte que retuerce la geometría del universo e impide la salida de todo, hasta de la luz. Cuidado: si siguen adelante, llegarán a una región de densidad infinita y al final del tiempo.

De los agujeros negros podría decirse lo que dijo Dante del infierno: “Perded toda esperanza al traspasarme”. Por las preguntas que plantean, muchas aún sin respuesta, estas bestias cósmicas que lo devoran todo son uno de los temas más activos de la física actual. Talentos de todo el mundo intentan descifrar sus enigmas y desafían nuestra imaginación con las respuestas más osadas y fantásticas.

A diferencia de lo que ocurre con la materia que auscultan instrumentos de indescriptible precisión, para la que los astrofísicos ya cuentan con mapas bastante certeros, los agujeros negros son inescrutables. Se calcula que en su centro se consumen en una *singularidad*, esto es, un punto de densidad infinita, y que en sus entrañas no hay pasado, solo futuro. Es más, en algunos casos, la deformación que le imprimen al espacio-tiempo podría hacer que dos de ellos se conectaran formando un *agujero de gusano*, un “túnel” con dos exteriores y un solo interior que podría vincular lugares distantes del universo. No hace mucho, durante una charla que ofreció en el Centro Cultural de la Ciencia de Buenos Aires, el argentino Juan Martín Maldacena, uno de los nombres más destacados de la ciencia actual, comparó este inconcebible artefacto con un “monstruo de dos cabezas” que, en teoría, podría conectar dos galaxias diferentes.

Como ocurrió con otros comportamientos del universo que desafiaban el sentido común, fue Einstein el que, casi sin saberlo, en su teoría de la

relatividad general creó el escenario para el descubrimiento de estos artefactos que parecen surgidos de delirios lisérgicos. Terminó de presentarla el 25 de noviembre de 1915 con una serie de cuatro conferencias en la Biblioteca Pública Prusiana, ubicada a pocos metros del icónico bulevar Unter den Linden, en el corazón de Berlín.

El físico estaba sumido en una crisis matrimonial y familiar, aguijoneado por una competencia sin respiro con el matemático alemán David Hilbert, agotado y agobiado por los dolores de estómago, pero, tras un esfuerzo de varios años, había logrado dar forma a las ecuaciones que desatarían una revolución en nuestra visión del universo. Desde entonces, y hasta hoy, esta obra monumental, pergeñada mayormente en solitario, fue probada innumerables veces. Paul Dirac, premio Nobel de Física y pionero de la mecánica cuántica, la consideró “probablemente el mayor descubrimiento científico jamás realizado”, y Max Born, otro de los gigantes de la física del siglo XX, “la mayor hazaña del pensamiento humano en torno de la naturaleza, la más asombrosa combinación de penetración filosófica, intuición física y habilidad matemática”. El propio Einstein se ufana de que había sido “el descubrimiento más valioso” de su vida. (56)

Su publicación, en apenas cuatro páginas, la convertiría en la teoría fundamental de la física de las grandes escalas, del mismo modo que la mecánica cuántica es la reina del submundo de los átomos. Pero, tal como destacó en una producción especial por su centenario la revista *Science*, lo más desconcertante es que “mientras la mecánica cuántica fue un logro colectivo –Bohr, De Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Born, Dirac–, la relatividad general surgió completamente formada de la mente de una sola persona: Einstein”. (57)

Pocas teorías pasaron tantos exámenes como la de la relatividad. “Los cosmólogos la usamos todo el tiempo”, cuenta Matías Zaldarriaga, uno de los dos profesores argentinos, junto con Maldacena, que enseñan en la Escuela de Ciencias Naturales del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, precisamente el lugar donde trabajó Einstein cuando se trasladó a Estados Unidos y donde aún se conserva su casa de paredes de madera al borde de un serpenteante sendero flanqueado de árboles. “Es lo que nos permite calcular dónde están los objetos que estudiamos, cuánto más débil es una fuente de luz si está más lejos... Y hasta ahora funciona muy bien, no encontramos nada que nos haga pensar que puede fallar.” (58)

Para concebir el fundamento de la física moderna, el joven Einstein, nacido

en Alemania e hijo de un empresario poco hábil para los asuntos financieros que adquirió tardíamente el lenguaje y durante su niñez fue un chico solitario y reflexivo, se basó en experimentos mentales. Básicamente, en una epifanía que lo asaltó mientras estaba sentado en una silla de la oficina de patentes de Berna: si una persona cae libremente, no sentirá su propio peso. En otras palabras, que no se puede distinguir experimentalmente si un cuerpo está acelerado uniformemente o si está sometido a la atracción de un campo gravitatorio. Más tarde calificaría este hallazgo como “la idea más feliz” de su vida.

Newton había establecido las bases de la mecánica clásica y había descrito la ley de la gravitación universal, pero su teoría tenía algunos vacíos. Por ejemplo, en ningún lugar dice que la gravedad tarda un tiempo en ejercerse, lo que en teoría permitiría transmitir información a velocidad infinita, algo que las leyes de la física no permiten. “El gran hallazgo de Einstein fue entender la gravedad no como una fuerza que se ejerce a velocidad infinita, como planteó Newton, sino como una deformación del espacio-tiempo”, destaca Daniel de Florian, investigador del Conicet y de la Facultad de Ciencias Naturales de la UBA que trabajó dos años y medio en el mismo instituto en el que se formó Einstein, el Politécnico de Zúrich. “Es un concepto netamente geométrico. Algo totalmente contraintuitivo, pero funciona.” (59)

“La idea de que hay una acción a distancia o una velocidad infinita de la propagación de la información no tiene sentido en la física, porque se violaría totalmente la noción de causalidad”, agrega Juan Pablo Paz, también investigador del Conicet, director del Instituto de Física y premio Bunge y Born 2010. “Lo que propuso Einstein fue formular una teoría del campo gravitatorio relacionada con la geometría del espacio-tiempo. Así, la materia y la energía, que generan lo que llamamos una fuerza de gravedad, en realidad lo que están haciendo es distorsionar el espacio y el tiempo de manera tal que los objetos que están alrededor se desplazan de forma diferente. La filosofía de la teoría de la relatividad general es que los objetos les dicen al espacio y al tiempo cómo curvarse, y la geometría del espacio y el tiempo les dicen a los objetos cómo moverse.” (60)

Ya en 1915, gracias a sus hallazgos, Einstein pudo explicar un enigma de décadas concerniente a la órbita de Mercurio. Otra de sus predicciones fue que la gravedad del Sol desviaría la luz cercana. Para probarlo, en agosto de 1914, el astrónomo alemán Erwin Freundlich lideró una expedición a Crimea

para tomar medidas durante un eclipse solar total. Pero, antes del eclipse, estalló la Primera Guerra Mundial, las tropas rusas capturaron los equipos y detuvieron a los científicos. Fue necesario esperar cinco años, hasta que terminara la guerra, para que el astrónomo británico Arthur Eddington hiciera el mismo experimento en la isla Príncipe. Objeto de conciencia, Eddington casi cae en prisión por rehusarse a hacer el servicio militar, pero Frank Dyson, astrónomo real en ese momento, pudo obtener una excepción con la condición de que él mismo participara de la expedición. La medición, que se hizo en 1919, le dio la razón a Einstein.

Una vez que se presentaron esos resultados, los físicos empezaron a aplicar las ecuaciones de Einstein a diversos problemas. A comienzos de 1916, en medio de la guerra, en la que servía como voluntario del ejército alemán, el matemático y astrofísico Karl Schwarzschild, que dirigía el observatorio de Potsdam, se propuso tratar de aplicar la nueva formulación a los objetos del espacio. Se encontraba en Rusia ocupado en establecer la trayectoria de los proyectiles de artillería, pero a pesar de todo se las arregló para calcular cómo sería el campo gravitatorio en torno de un objeto en el espacio y le envió a Einstein sus resultados por correo. Encontró además algo inesperado: que, si toda la masa de una estrella o cualquier otro objeto se comprimía en un espacio lo suficientemente diminuto –definido por una medida que pasaría a conocerse como *radio de Schwarzschild*–, en el centro, el espacio-tiempo se curvaría infinitamente sobre sí mismo. En el caso de nuestro Sol, tal cosa ocurriría si toda su masa se comprimiera en un radio de algo menos de 3 kilómetros; en el de la Tierra, si se aplastara en menos de 1 centímetro.

Dada semejante situación, nada podría escapar de la fuerza gravitatoria, ni siquiera la luz o ninguna otra forma de radiación. Y, como a mayor gravedad el tiempo corre más lento, dilatándose hasta cero, nos encontraríamos ante... el final del tiempo. En otras palabras, un viajero que se aproximara a ese punto parecería, si fuera posible observarlo desde el exterior, congelado e inmóvil. (61) Poco después de escribir estos artículos, Schwarzschild, que todavía estaba en el frente, contrajo una enfermedad autoinmune que atacaba las células de la piel y murió a los 42 años.

Einstein no creería, ni entonces ni después, que estos resultados se correspondieran con nada real. En 1919, por ejemplo, elaboró un trabajo que, según decía, proporcionaba “una clara explicación de por qué esas ‘singularidades de Schwarzschild’ no existen en la realidad física”. Pero, unos meses más tarde, otros confirmaban que las estrellas sí podían experimentar un

colapso gravitatorio.

Entre las historias curiosas vinculadas con la verificación de la teoría de la relatividad general, figura la del joven físico indio Subrahmanyam Chandrasekhar, conocido como *Chandra*, que sostuvo una disputa prolongada con Eddington, su profesor, acerca del destino al que sucumbirían las estrellas después de agotar su combustible. Este último pensaba que se convertían en enanas blancas increíblemente densas, pero Chandra calculó que las estrellas muy masivas eran inestables y colapsarían alcanzando una densidad infinita y se convertirían en un punto. En 1935, mientras estaba en la Universidad de Cambridge, presentó sus conclusiones en una reunión de la Sociedad Real de Astronomía de Londres. Eddington lo refutó diciendo que los agujeros negros eran rarezas matemáticas que no podían existir en situaciones de la vida real. “Pienso que debería haber una ley de la naturaleza que evite que una estrella se comporte de esta forma absurda”, protestó el profesor. Pero el tiempo, y los físicos que lo siguieron, le darían la razón al alumno, que recibió el Premio Nobel en 1983, entre otras cosas, por estas investigaciones.

Aunque Einstein se resistió a aceptarla, luego de su muerte se corroboró que la extraña teoría de Schwarzschild era cierta. Las estrellas pueden colapsarse y producir este desconcertante fenómeno: un lugar del universo en el que se desbaratan las leyes de la física tal como las conocemos.

En la década del sesenta, cada vez más físicos respaldaron esta predicción de la relatividad general. Un teórico estadounidense pionero de la fisión nuclear, John Archibald Wheeler, creó los términos *agujero negro* y *agujero de gusano* que, desde entonces, se convirtieron en objetos que ejercen la misma atracción sobre la materia que sobre los astrofísicos.

A Einstein, “su propio planteo teórico lo superó ampliamente –dice Zaldarriaga–. Con el paso de las décadas, predicciones muy raras, como los agujeros negros, fueron verificadas en el centro de nuestra galaxia. Lo interesante es que podemos ver que esos agujeros negros están ahí, pero nunca vimos algo caerse adentro de modo que podamos chequear en detalle si las predicciones se cumplen”. (62)

Todos estos avances se dieron en el siglo XX, pero casi tres siglos antes, en 1783, un catedrático de Cambridge, John Mitchell, había contemplado la posibilidad de que una estrella suficientemente masiva y compacta tuviera un campo gravitatorio tan intenso que la luz no pudiera escapar de él. Es más, Mitchell sugirió que podría haber un gran número de astros de este tipo y que, a pesar de que no seríamos capaces de verlos, porque su luz no llegaría hasta

nosotros, sí notaríamos su atracción gravitatoria. (63)

La conversión de una estrella en un agujero negro fue descrita más o menos así: a medida que se contrae, su campo gravitatorio se vuelve más intenso y se hace más difícil que la luz escape de ella. Un observador lejano la ve más roja y más débil. Cuando su reducción sobrepasa un radio crítico, el campo gravitatorio llega a ser tan intenso que la luz es atraída hacia adentro y ya no puede escapar. De esa gravedad feroz tampoco escapa ningún otro objeto, por lo que un observador lejano lo ve como un hoyo negro rodeado de las luces ardientes de las estrellas que logran eludir su voracidad. Y, de la misma forma en que un marino no puede ver qué hay más allá del horizonte, el observador que no haya atravesado el “borde” de un agujero negro no puede ver u obtener información sobre lo que ocurre dentro de él.

Dado que la luz no puede escapar de ese vórtice que supera las fantasías más desatadas, en las últimas décadas, varios físicos, matemáticos y cosmólogos intentan dilucidar, mediante evidencias indirectas y echando mano a las armas de la matemática, qué ocurre dentro de esta otra dimensión que convive con nuestro universo usual. El propio Stephen Hawking, que junto con el astrofísico del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por su sigla en inglés), Kip Thorne, y otros dedicó gran parte de sus esfuerzos a develar los contornos de esta geografía fantástica, se planteó en *Historia del tiempo*, el libro que lo transformaría en una celebridad, qué pasaría si un intrépido astronauta estuviera situado en la superficie de una estrella que se colapsa. Allí dice que si el valiente explorador enviase una señal cada segundo a una nave espacial que gira en órbita alrededor de la estrella, de acuerdo con su reloj, cuando esta se redujera por debajo de su radio crítico (el calculado por Schwarzschild), el campo gravitatorio se haría tan intenso que nada podría escapar y las señales del astronauta ya no alcanzarían la nave. A medida que avanzara, para sus compañeros que se habían quedado allá afuera, los intervalos entre las señales serían cada vez más largos. Entre la anteúltima y la última, transcurriría... una eternidad, un período infinito de tiempo. ¿Qué sentiría al astronauta devorado para siempre por la bestial gravedad del agujero negro? Bueno, depende de a quién le preguntemos. Algunos teóricos especulan que en el borde del agujero negro se toparía con un muro de energía que no lo dejaría pasar, aunque esa teoría no tiene muchos adeptos. En general, piensan que no sentiría nada especial y que podría pasar el punto de no retorno sin notarlo. Pero, a medida que la región se fuera colapsando, dado que la gravedad disminuye con la distancia, la diferencia entre la fuerza que se ejerce

sobre su cabeza y sobre sus pies se haría tan intensa que lo estiraría como un fideo y terminaría despedazándolo.

EL FÍSICO ESTABA SUMIDO EN UNA CRISIS MATRIMONIAL Y FAMILIAR, AGUIJONEADO POR UNA COMPETENCIA SIN RESPIRO CON EL MATEMÁTICO ALEMÁN DAVID HILBERT, AGOTADO Y AGOBIADO POR LOS DOLORES DE ESTÓMAGO, PERO [...] HABÍA LOGRADO DAR FORMA A LAS ECUACIONES QUE DESATARÍAN UNA REVOLUCIÓN.

La *singularidad*, una región de densidad y curvatura infinitas del espacio-tiempo, fue postulada por Roger Penrose y Stephen Hawking. Podría imaginarse como una situación similar al *Big Bang*, un punto infinitesimal en el que están comprimidas toda la materia y toda la energía, pero que, en lugar de remontarse al inicio de los tiempos, está ubicada al final.

Descritos en gran detalle como modelo matemático antes de tener evidencia alguna de su existencia, los agujeros negros, sin embargo, parecen ser algo muy usual en las comarcas cósmicas. Y, a pesar de que solo pueden detectarse mediante señales indirectas, como la fuerza que ejercen sobre objetos cercanos, hoy se sabe que su número podría ser incluso mayor que el de las estrellas visibles y que podría haber una de estas bestias hambrientas en el corazón de la mayoría de las galaxias. De hecho, hay uno en el centro de la nuestra, la Vía Láctea.

Las representaciones artísticas que intentan ayudarnos a imaginarlos los retratan como un lugar oscuro rodeado de estrellas. En la frontera, está su *horizonte de sucesos*, esto es, el punto de no retorno en el que los rayos que están propagándose hacia afuera parecen detenidos en el tiempo. No obstante, en 1974, Stephen Hawking planteó que sí había algo que podía salir: aplicando los principios de la física cuántica al agujero negro, llegó a la conclusión de que estos deben crear y emitir partículas. Es lo que hoy se conoce como *radiación de Hawking*, que se originaría en pares de partículas y antipartículas creadas en esa frontera. En ciertos casos, una de ellas podría ser absorbida por el agujero negro y la otra se emitiría hacia el exterior, llevándose consigo parte de la energía del agujero negro. El problema es que esta radiación es tan tenue que resulta imposible medirla con los instrumentos

actuales.

Si Stephen Hawking estaba en lo cierto, los agujeros negros pierden energía paulatinamente, se hacen más pequeños y llegan a esfumarse por completo con el paso del tiempo. Pero ¿qué pasa entonces con toda la información cuántica de lo que el agujero negro se tragó? (64) ¿A dónde va toda la materia que alguna vez conformó la estrella?

Cuando la materia se comprime en una zona muy reducida, ya no se puede aplicar la relatividad general y son los efectos cuánticos los que toman el mando. Por eso, para comprender cabalmente la física de los agujeros negros, es necesario disponer de una teoría cuántica de la gravitación, una tarea que aún está pendiente.

Dado que el interior está vedado para nosotros, los científicos sospechan que están frente a un agujero negro cuando sus instrumentos detectan ondas de radio de alta energía, un chorro de rayos gamma u ondas gravitacionales, algo que Gabriela González, la científica argentina que fue vocera del experimento que las detectó por primera vez, definió como “arrugas en el espacio-tiempo que viajan a la velocidad de la luz”.

Una de estas entidades llegó a la Tierra el 14 de septiembre de 2015, exactamente a las 5.51 de la madrugada (hora de verano del este de Estados Unidos). Detectores gemelos ubicados a 3000 kilómetros de distancia escucharon, con 7 milisegundos de diferencia, un leve murmullo surgido a 1300 millones de años luz de distancia que llegaba desde dos agujeros negros fusionados en un abrazo salvaje. Ese susurro probó, un siglo después de que fuera prevista teóricamente por Albert Einstein, la existencia de ondulaciones en la trama del espacio-tiempo. El evento había sido tan elusivo durante décadas que los científicos que participaban en el experimento, llamado *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (LIGO), tardaron cinco meses en confirmar que lo que habían detectado era en efecto la prueba que buscaban. (65)

Por ese logro, la Academia Sueca de Ciencias otorgó el Premio Nobel de Física 2017 a los arquitectos de LIGO Rainer Weiss, profesor del MIT, Kip Thorne y Barry Barish, estos últimos del Instituto de Tecnología de California (Caltech, por su nombre en inglés), proyecto en el que trabajan más de mil científicos de quince países, varios de ellos argentinos, como la cordobesa Gabriela González y Mario Díaz, director del Centro para la Astronomía de Ondas Gravitacionales de la Universidad de Texas.

El anuncio de ese primer hito hizo historia. Generadas por cataclismos

cósmicos, las ondas gravitacionales estiran y comprimen el espacio y el tiempo a medida que se propagan por el universo. Para detectarlas, en el interferómetro (66) de LIGO un láser infrarrojo llega a un semiespejo, se divide en dos y cada haz viaja 4 kilómetros en el vacío, rebota en otro espejo y vuelven a encontrarse. Si las distancias son iguales, se cancelan pero, si son distintas (por efecto de la distorsión que imprime una onda gravitacional), los detectores ven un poco de luz. Esa distorsión es infinitesimal, equivalente al tamaño de un átomo en la distancia de la Tierra al Sol.

Pero los astrofísicos no se dan por vencidos en sus intentos de visualizar (y no solo “escuchar”) a estos monstruos devoradores. Calcularon que, si tuviéramos un telescopio del tamaño de la Tierra y nada que se interpusiera entre nosotros y el agujero negro, podrían hacerlo. Algunas longitudes de onda son relativamente transparentes a la materia galáctica, de modo que si se miraran las ondas de radio, por ejemplo, se podría ver el horizonte de sucesos. No contamos con un telescopio del tamaño de la Tierra, pero tenemos una red de radiotelescopios a través del globo y las técnicas para combinar sus datos en una sola imagen. Esta es la idea que respalda el proyecto Event Horizon Telescope (EHT), que aspira a permitirnos ver el primer agujero negro. (67)

Esos radiotelescopios, los más distantes separados por 12.000 kilómetros, enfocan el mismo punto simultáneamente lo que permite obtener una resolución que hace visibles objetos tan pequeños como el tamaño de una mosca en la Luna y tienen una resolución mil veces mayor que la del Hubble. (68)

En 2017, más de un centenar de científicos sincronizaron ocho de estos aparatos, ubicados en cuatro continentes, para tomar una imagen única del horizonte de sucesos del agujero negro que se encuentra en el centro de la Vía Láctea, el Sagittarius A* (está a solo 27.000 años luz de distancia y tiene cuatro millones de veces el tamaño del Sol) y del M87, ubicado en el centro de la galaxia de Virgo (tiene más de 6000 millones de masas solares y queda a 50 o 60 millones de años luz de distancia). Dicen que una noche de observación arroja un volumen de datos similar al que se obtiene durante un año de experimentos en el Gran Colisionador de Hadrones, esa maravilla de la ingeniería que está sepultada bajo la frontera francosuiza, cerca de Ginebra, que permitió constatar la existencia del bosón de Higgs, la partícula que confiere la masa a todas las demás. Mientras escribo estas líneas, se están analizando los datos reunidos. Tal vez 2018 sea el año mágico en que por primera vez la humanidad divise el horizonte de un agujero negro.

Pero ni siquiera el Event Horizon Telescope podrá contestar las preguntas que atormentan a Horacio Casini y Marina Huerta, docentes del Instituto Balseiro y ganadores del prestigioso Premio Breakthrough. Ellos forman parte de un grupo de investigadores que intenta traducir las reglas de la física al lenguaje de la información. Esto “conforma un área de estudio que se conoce como ‘información cuántica’ y es particularmente interesante para los agujeros negros –me explica Huerta un día soleado paseando por los jardines del Instituto Balseiro–, porque permite trazar una conexión entre la teoría de la información y, en particular, la entropía (el término que en la física alude a la medida del desorden)”.

Me encuentro con Huerta y Casini, y también con Gonzalo Torroba, docente del Balseiro y ganador del Premio Estímulo a Jóvenes Científicos Bunge y Born, en una reunión organizada por el Instituto Balseiro, bautizada *It from Qbit*, que reunió a unas decenas de físicos teóricos abocados a este problema. “Los qbits son las unidades en las que se almacena la información cuántica – dice Torroba–. ‘It from Qbit’ es una forma de decir que la realidad (It) surge a partir de la información cuántica (Qbit), que todo está ‘codificado’ en términos de información cuántica.”

Los agujeros negros estimularon el interés en la información cuántica porque, a pesar de llamarse *negros*, en rigor no lo son, tienen temperatura y, dado que la temperatura resulta del movimiento de las partículas, también “entropía”.

“En los agujeros negros –dice Torroba–, la entropía está relacionada con el área, el borde. Es un poco confuso, pero cuando uno estudia la gravedad, el tiempo y el espacio se pueden mezclar, el tiempo pasa a ser otra coordenada del espacio. Y lo que ocurre cuando uno pasa el horizonte del agujero negro es que lo que antes era una dirección del tiempo pasa a ser una dirección del espacio, y al revés. Eso es, de hecho, lo que define al borde del agujero negro. El tiempo se hace nulo.” Torroba da su propia explicación de lo que sucedería si alguien osara atravesar esa frontera, el *horizonte de sucesos*. “Al principio, no pasa nada –afirma el físico–. Después, la gravedad clásica nos dice que a medida que uno va llegando a la ‘singularidad’, se va estirando y achicando, hasta que en algún momento se destruye. Pero en el nivel cuántico creemos que las singularidades no pueden existir, que se tienen que resolver, que tiene que haber algo más. No se sabe exactamente qué, pero sí que hay una distancia muy pequeña (la llamada ‘distancia de Planck’), en la que esta descripción gravitatoria no funciona. En fin..., que todavía no entendemos del todo lo que

pasa.”

Como Alicia del otro lado del espejo, Maldacena –que viajó a Bariloche para participar del encuentro– agrega otra dosis de complejidad a estas explicaciones: “La singularidad es una región de alta curvatura que no sabemos cómo describir, pero que está en el futuro –dice sonriendo–. No está en una región del espacio, sino en un lugar del tiempo, en un tiempo y un espacio que colapsan. La geometría de esa región nos dice muchas cosas, pero en particular, nos dice el ritmo al cual pasa el tiempo. Por ejemplo, en la superficie del Sol, que por su masa ejerce una gravedad mayor, el tiempo pasa un poco más lento que en la Tierra, con una diferencia de alrededor de una parte en un millón, más o menos. Pero en una estrella de neutrones (la que resulta del colapso gravitacional de una supergigante masiva), pasa al 70% de la velocidad. Y si la estrella se comprime a menos de un cierto tamaño, que llamamos el radio del agujero negro, el tiempo parece detenerse. Hay un lugar en el que si una persona se mantuviera ahí en una posición fija, sentiría un tiempo infinito. Esto fue lo que no le gustó a Einstein y por eso pensó que esta solución [a sus ecuaciones] no tenía sentido”. (69)

Se da así una situación paradójica: adentro del agujero negro, el universo se comprime hasta llegar a la singularidad, pero, en las regiones vecinas, sigue expandiéndose. Objetos vecinos pueden coexistir y mantenerse en su órbita siempre que se muevan lo suficientemente rápido como para equilibrar la fuerza de atracción del agujero negro. De hecho, es lo que sucede en el centro de la Vía Láctea.

Maldacena tampoco puede explicar (todavía) cómo es posible que el tiempo pase de la expansión a la singularidad: “No hay ninguna teoría concreta que permita contestarlo de manera matemática”, afirma.

Acerca de nuestra pregunta inicial, propone: “Si uno cruzara ese borde llamado ‘el horizonte’, entraría en una región del espacio-tiempo que está en el futuro. Ahí es donde la curvatura se hace muy grande y las fuerzas gravitatorias lo despedazarían. Pero uno no podría evitar terminar en la singularidad, porque la singularidad está en el futuro y no se puede evitar viajar hacia el futuro”. Y sigue: “Los agujeros negros se forman de distintas maneras, pero siempre terminan evaporándose de una forma similar. Emiten esta radiación térmica que a primera vista parece que no contiene información precisa de lo que formó el agujero negro. Pero la mecánica cuántica nos dice que distintos estados iniciales tienen que dar por resultado diferentes estados finales. No se puede perder la información. O sea, que debería haber

diferencias muy sutiles en la radiación que sale de un agujero negro, y esas diferencias deberían contener la información de cómo se formó el agujero negro. La pregunta es ¿con qué leyes de la física podemos calcular eso? Para responder estas preguntas necesitamos una teoría que junte la gravedad con la mecánica cuántica. Y esta va a ser la teoría de cuerdas. ¿Qué es la teoría de cuerdas? Es una teoría en construcción que describe el espacio-tiempo en forma cuántica. La pregunta más interesante que uno trata de responder con estas hipótesis es ¿cómo fue el principio del universo? Eso todavía no lo podemos decir. Podemos definir el interior de ciertos espacio-tiempos en términos de una teoría del borde de estos espacios. Y de la misma manera se pueden describir agujeros negros. La idea es que un agujero negro está constituido por un conjunto muy grande de partículas que viven en la frontera y que están a cierta temperatura. Estas partículas en la frontera tienen tantas configuraciones que nos dan la entropía, la temperatura, del agujero negro. Entonces, esa relación nos dice cómo son los constituyentes microscópicos del espacio-tiempo, los átomos del espacio-tiempo, que según esta descripción no viven en el interior, sino en la frontera. La ventaja es que esta teoría de la frontera obedece a las reglas de la mecánica cuántica ordinaria y, por lo tanto, los agujeros negros son consistentes con la mecánica cuántica. Es una predicción de la teoría de cuerdas, pero es difícil de probar. En esta descripción, uno tiene ciertas partículas que se mueven en la frontera, dando origen a un universo en el interior”.

SE DA ASÍ UNA SITUACIÓN PARADÓJICA: ADENTRO DEL AGUJERO NEGRO, EL UNIVERSO SE COMPRIME HASTA LLEGAR A LA SINGULARIDAD, PERO, EN LAS REGIONES VECINAS, SIGUE EXPANDIÉNDOSE. OBJETOS VECINOS PUEDEN COEXISTIR Y MANTENERSE EN SU ÓRBITA SIEMPRE QUE SE MUEVAN LO SUFICIENTEMENTE RÁPIDO COMO PARA EQUILIBRAR LA FUERZA DE ATRACCIÓN DEL AGUJERO NEGRO.

La idea es la siguiente: se considera el sistema cuántico de partículas como si fuera una frase muy larga, muy complicada. Se analiza la geometría del espacio-tiempo como se lo hace con la sintaxis de una frase. Se encuentran

correlaciones de distancias pequeñas, como las palabras, estructuras más grandes, como los capítulos. En esta visión, el universo sería un lenguaje, un libro. Y las correlaciones entre partículas se analizarían como las que existen dentro de una oración.

“Si uno supiera el proceso de las leyes de la física que generaron esas correlaciones en la frontera —explica Maldacena—, podría revertirlas y recuperar lo original. Usando la analogía con una frase o una oración, sería algo similar a la encriptación, que nos permite recuperar la información original a partir del análisis de una frase develada mediante un código. La teoría de cuerdas es capaz de describir aspectos cuánticos de los agujeros negros en forma consistente. Y una de las cosas que vemos es que el espacio-tiempo parece emerger de las interacciones más elementales de las partículas que viven en la frontera.”

En su charla en el Centro Cultural de la Ciencia, Maldacena planteó otra disparatada posibilidad que ofrecen estas inefables curiosidades cósmicas: el caso de dos agujeros negros que comparten un único interior. Las soluciones a las ecuaciones de Einstein permiten que el exterior de uno esté en una galaxia y el del otro a un millón de años luz de distancia, pero por adentro estarían a una distancia mucho menor. “Es lo que se llama un ‘agujero de gusano’ —dice—. A pesar de que la distancia entre ellos sea pequeña, no se puede atravesar, porque el universo colapsa en una singularidad antes de que podamos salir del otro lado. O sea que no nos permitirían mandar señales más rápido que la velocidad de la luz: no sirven para la ciencia ficción. Sin embargo, imaginémonos que tenemos allí a dos personas: Romeo y Julieta. Están en una civilización muy avanzada, pero sus familias no se quieren, entonces a Romeo lo dejan aquí y a Julieta la mandan a vivir a otra galaxia. Ellos son sumamente inteligentes y se intercambian muchos bits cuánticos entrelazados, logran formar un par de agujeros negros entrelazados y deciden que van a saltar adentro de esos agujeros negros. Sus familias ven que Romeo y Julieta se tiran adentro de un agujero negro y dicen ‘se suicidaron’. Pero lo que realmente experimentan Romeo y Julieta es distinto: ellos se encuentran en el interior del agujero negro y ahí viven felices por un tiempo hasta que, bueno, se mueren en la singularidad. No lo atraviesan, ya que no pueden ‘salir’ del interior. Lo que está prohibido es ir desde el exterior de un agujero negro hasta el exterior del otro. Pero ambos pueden ir al interior y encontrarse allí. En realidad, no sabemos muy bien lo que pasa en el interior. De hecho, hay ahora unas teorías que dicen que habría algunas maneras en que uno los podría rescatar. Pero es

algo más complicado y tiene que ver con la llamada ‘teleportación cuántica’.”

La película *Interstellar*, uno de cuyos productores fue nada menos que el mismísimo Kip Thorne, presenta, visual y artísticamente, algunas de las ideas que se tejen en torno de los agujeros negros. Una de las estrellas es precisamente un agujero negro, *Gargantúa*. También hay un agujero de gusano, ondas gravitacionales, diferencias en el paso del tiempo por efecto de la gravitación y un universo con cinco dimensiones. La trama (70) intenta ajustarse estrictamente a las hipótesis establecidas, pero finalmente hace concesiones en aras de la tensión del argumento, como permitir que el protagonista se comunique con el pasado, algo que las leyes de la física prohíben. (71)

Algún día, para nuestros descendientes, tal vez historias como esta formarán parte no de las ficciones cinematográficas, sino de la vida real.

56- W. Isaacson, *Einstein: su vida y su universo*, Barcelona, Debate, 2013.

57- M. Moerchen y R. Coontz, “Einstein’s vision”, *Science*, 347(6226): 1082-1083, marzo de 2015.

58- Cit. en N. Bär, “Una idea genial: la teoría de la relatividad general cumple 100 años”, *La Nación*, 30-03-2015.

59- Cit. en ibíd.

60- Cit. en ibíd.

61- W. Isaacson, ob. cit.

62- Cit. en Bär, “Una idea genial: la teoría de la relatividad general cumple 100 años”, ob. cit.

63- S. Hawking, *Historia del tiempo*, Madrid, Anaya, 1996.

64- C. Zahumenszky, “Logran probar la principal teoría de Stephen Hawking recreando un agujero negro en laboratorio”, *Gizmodo*, 26-04-2016.

65- N. Bär, “Premio Nobel para los arquitectos de LIGO, que permitió detectar ondas gravitacionales”, *La Nación*, 4-10-2017.

66- Instrumento óptico que emplea la interferencia de las ondas de luz u otras ondas electromagnéticas para medir distancias con gran precisión.

67- E. Siegel, “2018 will be the year humanity directly ‘sees’ our first black hole”, Medium.com.

68- D. Castelvecchi, “How to hunt for a black hole with a telescope the size of Earth”,

Nature, 543(7646): 478-480, marzo de 2017.

69- A propósito, la diferencia en el paso del tiempo por influjo de la gravedad se verificó experimentalmente en 1959. Un reloj en la planta baja de un edificio se retrasa cada día 200 billonésimas de segundo (200×10^{-12} segundos) respecto de un reloj en la terraza, 20 metros más lejos del centro de la Tierra. (La diferencia es tan pequeña que no tiene sentido mudarnos al sótano para retrasar nuestro envejecimiento...) Este mismo efecto es el que debió tenerse en cuenta al desarrollar la localización por GPS. La diferencia por efecto de la gravedad entre los satélites que orbitan a 20.000 kilómetros de altura y los relojes en tierra alcanza las 40 millonésimas de segundo por día. Si no se tuviese en cuenta, en pocos minutos el error en la localización de nuestro aparato de GPS sería de cientos de metros.

70- Esta historia incluso dio lugar a un artículo publicado en una revista científica especializada. Véase O. James, E. von Tunzelmann y otros, "Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie *Interstellar*", *Classical and Quantum Gravity*, 32(6), febrero de 2015.

71- R. Emparan, "El agujero negro convertido en estrella de cine", *Investigación y Ciencia*, nº 468, septiembre de 2015.

CAPÍTULO 4

¿QUÉ ES EL TIEMPO?

Francis Scott Fitzgerald publicó en 1922 un relato en el que imaginó a un relojero destrozado por la muerte de su hijo, soldado estadounidense en la Primera Guerra Mundial, que trabaja durante meses de manera obsesiva en un reloj para la estación ferroviaria de su ciudad. Cuando finalmente cae el lienzo, en la inauguración, el público reunido queda mudo ante el espectáculo de las manecillas que giran en sentido contrario al habitual, marcando las horas y los minutos “hacia atrás”.

Tal es el punto inicial de la historia de Benjamin Button, que David Fincher llevó a los cines en 2008: un bebé en el que vida física y mental no coinciden. Al nacer, su cuerpo está arrasado por los estragos de la vejez, pero, a medida que crece, va rejuveneciendo. Por el contrario, su cerebro madura y luego decae. Muere con el cuerpo de un bebé afectado de demencia senil en brazos de la mujer ya anciana con la que vivió un amor apasionado, pero (dadas las circunstancias) imposible. Lo inquietante de la trama radica, por supuesto, en que viola la más elemental de nuestras certezas: que nuestra vida se desarrolla en un tiempo que nunca retrocede. Como escribió Calderón de la Barca en el siglo XVII: “Ya no hay réplica que hacer contra aquesta distinción, de aquella cuna salí y hacia ese sepulcro voy”.

Por su intangibilidad y su férreo imperio sobre todo lo que existe, el tiempo nos fascina y nos desconcierta. “El tiempo es la sustancia de que estoy hecho – escribe Borges—. El tiempo es un río que me arrebatara, pero yo soy el río; es un tigre que me destroza, pero yo soy el tigre; es un fuego que me consume, pero yo soy el fuego. El mundo, desgraciadamente, es real; yo, desgraciadamente, soy Borges.” (72)

“Nos interesa el tiempo porque somos artistas, científicos, teólogos o, simplemente, porque nos vamos a morir. Queremos entenderlo o conformarnos por lo menos con una serie de ideas apaciguadoras”, afirma la psicoanalista Fanny Blanck de Cereijido. (73) A John Archibald Wheeler, influyente físico estadounidense que acuñó el término *agujero negro*, se le preguntó una vez cómo lo describiría. Después de pensarlo durante unos instantes, se le ocurrió

una definición: “El tiempo es la manera en que la naturaleza evita que todo suceda de una vez”. (74)

El tiempo lo gobierna absolutamente todo, desde la estructura geológica del planeta sobre el que caminamos y la precisa coreografía de funciones sincronizadas de los seres vivos, hasta los diminutos dispositivos que reciben señales de GPS para orientarnos en la ciudad, volar en aviones o lanzar naves al espacio. Nuestra primera intuición es que se trata de un permanente flujo, el cambio al que alude Heráclito: “Aun los que se bañan en los mismos ríos se bañan en diversas aguas... en los mismos ríos nos bañamos y no nos bañamos en los mismos, y parecidamente somos y no somos [...]. No hay manera de bañarse dos veces en la misma corriente; que las cosas se disipan y de nuevo se reúnen, van hacia ser y se alejan de ser”. (75) Algo similar a lo que preocupó a Aristóteles, el primero que se preguntó qué es el tiempo y que contestó: “El tiempo es la medida del cambio”, la “cantidad de movimiento respecto de un antes y un después”. (76)

Hans Reichenbach, filósofo de la ciencia y uno de los fundadores del Círculo de Berlín, afirma que fue para escapar de la ansiedad que nos causa el tiempo que Parménides quiso negar su existencia, que Platón imaginó un mundo de ideas que existen fuera de él y que Hegel habla del momento en que el espíritu trasciende la temporalidad y se conoce a sí mismo en su plenitud. Es para escapar de esta ansiedad que imaginamos la existencia de la “eternidad”, un mundo extraño fuera del tiempo en el que nos gustaría ser habitados por dioses, por un Dios o por almas inmortales. Y considera que nuestra actitud profundamente emocional hacia el tiempo contribuyó más a la construcción de las catedrales de la filosofía que la lógica o la razón. (77)

Cualquiera que se detenga unos instantes a reflexionar sobre la naturaleza del tiempo advierte que es una noción inasible: “Tan pronto atrapamos un instante cuando ya se nos ha ido, y otro nos llega para acabar de sacar al anterior; el tiempo se va haciendo conforme se va deshaciendo, ¿o será acaso que se va deshaciendo conforme se hace?”, escribe el físico mexicano Luis de la Peña. (78)

Y todo se complica más aún si consideramos que, mientras durante siglos se creyó que el tiempo era absoluto y universal, Einstein vino a desconcertarnos con su teoría de la relatividad, en la que enuncia que el intervalo medido por los relojes de un sistema de referencia entre dos sucesos depende de su movimiento (es decir, que el tiempo varía según la velocidad a la que uno se desplace) y también de la gravedad. En su célebre paradoja de

los gemelos, imagina que uno de ellos se sube en una nave espacial, viaja a gran velocidad hasta una estrella cercana y regresa a la Tierra. Al llegar, se da una circunstancia inaudita: mientras para el viajero estelar transcurrió solo un año, aquí pasaron diez. Es decir, que uno de los gemelos es diez años mayor que el otro a pesar de haber nacido ambos el mismo día. Este efecto, conocido como *dilatación del tiempo*, ocurre cuando dos sistemas de referencia se mueven uno respecto del otro, pero en la vida de todos los días no lo percibimos porque solo resulta evidente si el movimiento se realiza a velocidades cercanas a la de la luz, es decir, a casi 300.000 kilómetros por segundo. Cuando hacemos un viaje en avión, la distorsión es de solo unos nanosegundos, pero la precisión de los relojes atómicos sí permite registrar esas minúsculas diferencias que indican que el tiempo se estira con el movimiento. El efecto también se observa en ámbitos extremos, como el interior de los grandes aceleradores en los que se estudia el zoológico subatómico haciendo girar las partículas a velocidades cercanas a la de la luz. Como predice la teoría de la relatividad, estas se desintegran “en cámara lenta”.

Einstein mostró que las extrañas distorsiones del tiempo también ocurren bajo el influjo de la gravedad. Si se coloca un reloj en la base de una torre y otro en su extremo superior, el que está más cerca del centro de la Tierra, más inmerso en su campo gravitatorio, avanzará más lento. Este desconcertante descubrimiento fue fundamental para desarrollar el sistema de posicionamiento global, nuestro hoy tan familiar GPS: si no se hubiera tenido en cuenta la deformación del tiempo debida a la gravedad, las instrucciones de nuestros dispositivos nos conducirían a varios kilómetros de nuestro destino; es decir, no servirían para nada. (79)

El tiempo está entretejido con la vida. Así como Shakespeare dijo que “estamos hechos de la materia de nuestros sueños” podríamos afirmar que estamos hechos de tiempo. Este gobierna nuestras células y las de todos los seres vivos. Es el incansable metrónomo que hace que algunas flores extiendan sus pétalos al amanecer, que las aves vuelen kilómetros en determinada época hacia sus lugares de reproducción, las langostas se asocien en enjambres cada diecisiete años e incluso los mohos del suelo esporulen en ciclos diarios. (80)

Todos los organismos armonizan sus procesos fisiológicos con los ciclos del medioambiente en el que viven. Estos sistemas les permiten acoplarse a los ritmos de la naturaleza y ajustar sus patrones de conducta para anticiparlos, incluso en ausencia de indicadores externos: entre otros

procesos, dirigen la secreción de ciertas hormonas, y condicionan los horarios de caza, sueño y vigilia. (81) Estos “relojes biológicos” están alojados en células de todos los tejidos, pero los principales son los que se encuentran en grupos de neuronas del cerebro. ¿Cómo se “ponen en hora”? La respuesta a la que llegaron unas científicas argentinas tras una serie de elegantes experimentos (82) es un neurotransmisor llamado *glicina*. Este sería la batuta que pone en sintonía la orquesta formada por los distintos relojes circadianos (que poseen ciclos de alrededor de veinticuatro horas) del cerebro: hace callar a algunos de manera transitoria para que el conjunto suene armoniosamente.

Las investigadoras identificaron cinco genes involucrados en la transmisión de información a través de este neurotransmisor, encontraron la enzima (es decir, la proteína que cataliza reacciones bioquímicas) que la produce y sus receptores específicos (las “cerraduras” que permiten la interacción de ciertas sustancias con mecanismos del metabolismo celular). Cuando desregulaban el transporte o síntesis de glicina en algunas “neuronas reloj” de las moscas, este se enlentecía en casi una hora sin afectar su ritmo ni otros aspectos de su actividad motora. El bloqueo de algunos receptores produjo un comportamiento caótico de los ciclos de sueño y vigilia.

“Todas las células del organismo pueden tener un reloj, pero no todas lo tienen –me explica Fernanda Ceriani, jefa del Laboratorio de Genética del Comportamiento del Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Buenos Aires (perteneciente al Conicet y al Instituto Leloir)–. (83) En mamíferos, los periféricos están supeditados al reloj central del cerebro, que está distribuido en grupos de neuronas, los núcleos supraquiasmáticos [ubicados en el hipotálamo].” Como el cerebro humano tiene miles de millones de neuronas, Ceriani y Lía Frenkel, trabajaron en la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), que tiene apenas doscientas mil. Entre ellas, afirma la investigadora, hay unas doscientas que se ocupan de “dar la hora”. El cerebro de la *Drosophila* y el de los mamíferos son similares, solo que, por cada gen de la mosca, en mamíferos puede haber tres o cuatro.

La sincronización de estos “metrónomos” tiene dos grandes pasos: por un lado, exige tomar la información útil del ambiente (si es de día o de noche, o cuándo se producen las mareas; cada especie utiliza las claves adecuadas de acuerdo con el nicho que ocupa). Después, entran en acción una docena de proteínas que conforman una maquinaria muy compleja y cuyos niveles relativos dentro de la célula indican, por ejemplo, cuándo salir a cazar, comer,

estar alerta y activo o dormir. Esta red cronobiológica tiene una única “salida” para que el animal se comporte en forma coherente. Ceriani explica que hay muchas escalas temporales importantes para la vida. “La que conocemos un poco más es la que mide el paso de los días –cuenta–. Pero no es la única. De hecho, sabemos que hay ciclos que duran semanas, como el de la menstruación. Otros mucho más largos son los de la hibernación, que ocurren una vez al año. Y hay otros que duran varios años, como la etapa de fertilidad de las mujeres.”

El paso del tiempo dicta el compás en toda la escala evolutiva. Pero, en particular, en los mamíferos la vida vibra al son de la orquesta de diez mil neuronas de los núcleos supraquiasmáticos. Ese reloj se pone en hora principalmente por la información que recibe a través de la retina sobre la cantidad y calidad de luz, que sincroniza el reloj central. Las claves que este libera ponen en hora a los relojes periféricos, que habitan en el resto del organismo. (84)

A pesar de la diferente duración del día y de la noche, el reloj circadiano no se modifica por las diferentes estaciones. Lo que cambia es cómo controla la actividad. “Puede ir pianísimo o fortísimo de acuerdo con las claves del ambiente –explica Ceriani–, pero es importante no imaginarlo como algo fijo, porque una de sus propiedades intrínsecas es ser flexible y adaptarse. Ese es el punto clave de por qué las personas que tienen trabajos con turnos rotativos empiezan a tener problemas: porque están todo el tiempo desafiando su pobre reloj interno, que tiene que estar adaptándose continuamente.”

Hay también otros relojes “interiores”. Son los que nos permiten hacer estimaciones en intervalos muy cortos, como los que nos hacen levantarnos diez minutos antes de que suene el despertador o apretar el acelerador unos segundos antes de que la luz del semáforo cambie de amarillo a verde. Según el físico argentino Rodrigo Laje, que investiga de qué manera el cerebro “calcula” el tiempo, cómo funcionan es todavía una incógnita: “El procesamiento de las señales temporales es ubicuo, está en todas las tareas que hacemos –me cuenta por teléfono–. Sobre los intervalos más cortos y los más largos, sí se conoce mucho. Los más cortos son de decenas de microsegundos, y están involucrados, por ejemplo, en la capacidad de decidir con los ojos cerrados de dónde viene un sonido. Para eso, dependemos de nuestros dos oídos. Cuando la fuente está de frente, llega al mismo tiempo a ambos, pero cuando viene de un solo lado, la dirección se traduce en un desfase temporal. También somos bastante buenos calculando los tiempos

intermedios que van desde el segundo al minuto, pero no se sabe bien todavía cómo lo hacemos ni cuáles son las regiones del cerebro que participan. Son los que hacen posible la sincronización de la danza, el tiempo de vuelo de una pelota que queremos atajar o el habla... Uno está percibiendo un tiempo y además estimando cuándo va a venir el siguiente pulso. Por ejemplo, un músico en la orquesta no espera para ejecutar sus notas, sino que predice el tiempo que debe transcurrir para ejecutar el movimiento del dedo. Está muy bien descrito y sabemos que no tenemos un reloj central específico para eso. Hay mucha investigación, pero todavía es una pregunta sin respuesta”.

El tiempo, además, es un hecho cultural que varía de comunidad en comunidad. Según explica Robert Levine, (85) filósofo y psicólogo de la Universidad Estatal de California, cada cultura tiene una identidad temporal única. Estos patrones se naturalizan a tal punto que rara vez se discuten. Son, dice, un “lenguaje silencioso”. Los chicos no necesitan manuales que les definan las reglas del tiempo: adquieren de su sociedad los conceptos sobre las nociones de temprano y tarde; la espera y el apuro; el pasado, el presente y el futuro. Algunos estudios muestran que, por ejemplo, a medida que una ciudad crece, el valor del tiempo de sus habitantes se acrecienta con el aumento de los salarios y el alza del costo de vida. Así, la vida se vuelve más apurada y, a la vez, más hostil. Se da el sinsentido de que cuanto más desarrollado es un país menos tiempo libre les queda a sus habitantes.

Más allá de nuestra milenaria pasión por medir el tiempo con dispositivos cada vez más precisos —desde el “nilómetro”, una escala vertical que registraba la subida y la bajada del Nilo, pasando por los relojes solares, de agua, de arena, de incienso, de velas, de péndulo, mecánicos y de cuarzo hasta los atómicos, que no ganan ni pierden un segundo en un millón de años—, a algunos no nos alcanzan las horas del día, mientras que otros parecen tener todo el tiempo del mundo por delante. “Hay millonarios temporales y miserables temporales. Los que están angustiados por no dejar pasar ni un segundo y aquellos que no vacilan en dejar todo para mañana”, dice Levine.

Pero lo más sorprendente es que, fuera de lo que nos indica nuestra intuición y de que lo sentimos en el cuerpo, para la física el tiempo es una ilusión. La metáfora del río que vertebra nuestra existencia es errónea. Decimos que un río fluye porque se mueve a través del espacio con respecto al tiempo, pero el tiempo no puede moverse con respecto al tiempo. No hay nada que corresponda al “paso” del tiempo: el tiempo no transcurre, simplemente es. (86)

EL TIEMPO ESTÁ ENTRETEJIDO CON LA VIDA. ASÍ COMO SHAKESPEARE DIJO QUE “ESTAMOS HECHOS DE LA MATERIA DE NUESTROS SUEÑOS” PODRÍAMOS AFIRMAR QUE ESTAMOS HECHOS DE TIEMPO. ESTE GOBIERNA NUESTRAS CÉLULAS Y LAS DE TODOS LOS SERES VIVOS.

Asociamos la realidad con el instante presente, pensamos que lo pasado ya no existe y que el futuro todavía no se produjo. Sin embargo, por obvio que todo esto nos parezca, la teoría de la relatividad especial muestra que el presente no tiene un significado absoluto o universal. La simultaneidad es relativa, ya que dos sucesos que tengan lugar en el mismo momento, si se observan desde dos sistemas de referencia, pueden ocurrir en momentos distintos. Y la sensación de que el tiempo siempre corre en el mismo sentido, desde el pasado hacia el futuro, es también una quimera: las ecuaciones que describen nuestro universo funcionan perfectamente si el tiempo fluye hacia adelante o hacia atrás. (87) Por supuesto, el mundo que conocemos es muy diferente. El cosmos se está expandiendo y los átomos radiactivos se descomponen en lugar de volver a unirse. Las tortillas no se transforman nuevamente en huevos intactos. Recordamos el pasado, no el futuro. En nuestra experiencia diaria, el tiempo tiene una dirección clara e irreversible. ¿Cómo se explica esto?

Para los físicos actuales, esta *flecha del tiempo*, como la denominó en 1927 el astrónomo británico Arthur Eddington (el mismo que ocho años antes había probado experimentalmente las predicciones de la teoría de la relatividad general de Einstein), es una propiedad emergente de la segunda ley de la termodinámica, que establece que la entropía (el grado de desorden) de un sistema cerrado siempre tiende a aumentar. Los pasajeros en el subterráneo viajan ida y vuelta, pero los huevos que se rompen para hacer una *omelette* solo pueden ir en una dirección: no pueden “reordenarse” luego para que volvamos a guardarlos en la heladera.

La definición moderna de entropía fue propuesta por el físico austríaco Ludwig Boltzmann en 1877, a partir de aportes de su colega alemán Rudolf Clausius y del ingeniero militar francés Nicolas Léonard Sadi Carnot. En los comienzos de la industrialización, cuando intentaban construir mejores máquinas de vapor, comenzó el estudio del calor y sus propiedades. Carnot

mostró que un motor obtenía el máximo rendimiento de una cierta cantidad de combustible a una temperatura determinada, si se minimizaba la producción de calor residual. Pero entonces se dio cuenta de que incluso el motor más eficiente posible no es perfecto: siempre pierde algo de energía en el camino. En otras palabras, el funcionamiento de una máquina de vapor es un proceso irreversible. Los motores hacen algo que no se puede deshacer. Fue Clausius, en 1850, quien entendió que esto reflejaba una ley de la naturaleza. Los sistemas físicos evolucionan hacia un estado de equilibrio: una configuración inactiva lo más uniforme posible, con temperaturas iguales en todos los componentes. A partir de esta idea, en 1865 reformuló su máxima original en términos de una nueva cantidad que llamó *entropía*. Demostró que la tendencia del calor a fluir de los objetos calientes a los fríos era equivalente a la afirmación de que la entropía de un sistema cerrado solo podría subir, nunca descender. (88)

Sean Carroll, el cosmólogo estadounidense e investigador del Departamento de Física del Instituto de Tecnología de California que dedicó gran parte de su trabajo al problema del tiempo, explica que, en realidad, aunque en la naturaleza abundan los procesos físicos irreversibles que sugieren una dirección, la flecha del tiempo simboliza una asimetría no un movimiento. Hablamos sobre pasado y futuro del mismo modo en que lo hacemos cuando nos referimos a “arriba” y “abajo”, aunque en el espacio tal cosa no existe. Lo que percibimos como la flecha del tiempo es el camino que va de estados ordenados a configuraciones al azar. El aumento de la entropía es una certeza cósmica porque, para un sistema dado, siempre hay muchos más estados desordenados que ordenados, del mismo modo que hay muchas más formas de dispersar papeles en un escritorio que de acomodarlos cuidadosamente en una pila. (89)

Durante mucho tiempo, los científicos pensaron que el universo era estático e infinito. Las observaciones, sin embargo, refutaron esta idea. Según el modelo del *Big Bang*, en el inicio todas las partículas que actualmente observamos estaban comprimidas en un punto extraordinariamente caliente y denso, casi uniformemente distribuidas; la densidad difería de un lugar a otro en solo una parte entre cien mil. A medida que se expandía y enfriaba, la fuerza de gravedad aumentó esas diferencias: las regiones que tenían más partículas formaron estrellas y galaxias, y las regiones con menos partículas formaron vacíos. La flecha termodinámica del tiempo sugiere que nuestro universo observable comenzó en un estado de baja entropía.

Todo esto es antiintuitivo, porque en realidad parece que el universo se está volviendo más ordenado en lugar de menos. El pasaje de una sopa primordial relativamente uniforme a las estrellas, planetas y humanos es, sin embargo, el sello del aumento de entropía. Claro que, entonces, cabe preguntarse por qué el cosmos comenzó tan ordenado. Esto, lamentablemente, también continúa siendo un misterio. Es más, algunos investigadores argumentan que puede que el *Big Bang* ni siquiera haya sido el comienzo, y que podría haber universos paralelos en los que el tiempo corre en diferentes direcciones. (90) Carroll explora esta idea: “Los cosmólogos a veces dicen que el *Big Bang* representa un verdadero límite al espacio y al tiempo, antes del cual nada existía, ni el espacio ni el tiempo, por lo que el concepto de ‘antes’ no es estrictamente aplicable. Pero no sabemos lo suficiente sobre las leyes fundamentales de la física para hacer una afirmación como esa. Cada vez más, se está tomando en serio la posibilidad de que el *Big Bang*, en lugar de un comienzo, sea una fase que atraviesa el cosmos en sí, o al menos nuestra parte. Si esto es cierto, la cuestión de nuestros comienzos de baja entropía toma otro cariz: no habría que plantear ‘¿por qué comenzó el universo con una entropía tan baja?’, sino más bien ‘¿por qué nuestra parte del universo pasó por un período de baja entropía?’”. (91) Esta diferente formulación abriría todo un nuevo conjunto de respuestas posibles. Quizás el universo que vemos es solo parte de un multiverso mucho más grande, que podría ser completamente simétrico en el tiempo. “Es posible que el universo no existiera antes del *Big Bang*, como parece implicar la relatividad general convencional –sugiere Carroll–. O bien podría ser (como tiendo a creer) que el espacio y el tiempo sí lo hicieron. Lo que llamamos el *Big Bang* es una especie de transición de una fase a otra.” Pero allí no terminan las hipótesis que se barajan. Incluso hay escenarios que contemplan que el tiempo se termine. De acuerdo con las extrañas reglas de la mecánica cuántica, diminutas partículas aleatorias pueden crearse del vacío, algo que se ve constantemente en los experimentos. La energía oscura podría causar tales “fluctuaciones cuánticas” y dar lugar a un nuevo *Big Bang*, que finalizaría nuestra línea de tiempo y comenzaría otra.

Los físicos Dmitriy Podolskiy, de la Universidad de Harvard, y Robert Lanza, (92) de la Universidad Wake Forest, especulan con otra posibilidad: que el tiempo no solo exista “allá afuera”, pasando del pasado al futuro, sino que sea una propiedad emergente que depende del observador; es decir, de nosotros. “Einstein mostró que el tiempo es relativo al observador –escribe

Lanza en la revista *Discover*-. (93) Nuestro documento va un paso más allá; argumentamos que el observador realmente lo crea.”

En un trabajo publicado en *Annalen der Physik*, (94) la misma revista científica que dio a conocer las teorías de Einstein sobre la relatividad especial y general, intentan reconciliar el mundo de la relatividad (que concierne a los objetos en distancias macroscópicas) con el de la mecánica cuántica (que rige en el universo subatómico). Se trata del problema, conocido como *gravedad cuántica*, tal vez el mayor misterio de la ciencia actual. Es posible hacerse una idea de cómo actúa la mecánica cuántica tomando como ejemplo las luces de una pieza. El sentido común nos dice que pueden estar encendidas o apagadas, pero no ambas cosas al mismo tiempo. Sin embargo, el bizarro mundo de la cuántica permite que los dos estados estén superpuestos: encendidos y apagados al mismo tiempo. A esto se lo denomina *entrelazamiento cuántico* y se verifican en el mundo de las partículas. ¿Pero por qué no se observan estados entrelazados en los objetos macroscópicos que nos rodean? El célebre gato de Schrödinger muestra que gatos y personas pueden también existir en estados entrelazados; es decir, pueden estar vivos y muertos al mismo tiempo. (95)Entonces, ¿por qué los gatos siempre están vivos o muertos? La respuesta, en términos de la mecánica cuántica, es la decoherencia: la luz empieza a estar permanentemente prendida o apagada si un observador mide su estado.

En su trabajo, Lanza y Podolskiy esgrimen que las propiedades intrínsecas de la gravedad cuántica y la materia por sí solas no pueden explicar el surgimiento del tiempo y la falta de entrelazamiento cuántico en nuestro mundo ordinario, cotidiano y macroscópico. Es necesario incluir las propiedades del observador y, en particular, la forma en que procesamos y recordamos la información. Para ellos, la aparición de la flecha del tiempo está relacionada con la capacidad de los observadores para conservar información sobre eventos experimentados.

Pero si las leyes de la física deberían funcionar igual para los eventos que van adelante o retroceden en el tiempo, entonces, ¿por qué solo envejecemos y nunca rejuvenecemos?

La respuesta, para ambos científicos, es que los observadores tenemos memoria y solo podemos recordar eventos que hemos observado en el pasado. Las trayectorias mecánicas cuánticas “del futuro al pasado” están asociadas con el borrado de la memoria, ya que cualquier proceso que disminuya la entropía conduce a la disminución del entrelazamiento entre nuestra memoria y

los eventos observados. En otras palabras, si experimentáramos el futuro, no podríamos almacenar los recuerdos sobre tales procesos. No se puede retroceder en el tiempo sin que esta información sea borrada de nuestro cerebro. Por el contrario, si experimentamos el futuro usando la ruta habitual, acumulamos recuerdos y crece la entropía.

Otros investigadores avanzaron sobre la hipótesis del entrelazamiento cuántico como fuente de la flecha del tiempo y llegaron a calcular que la mayoría de los sistemas físicos se equilibran rápidamente en escalas de tiempo proporcionales a su tamaño. (96) La idea de que el entrelazamiento podía explicar la flecha del tiempo se le ocurrió a Seth Lloyd (97) hace unos treinta años, cuando tenía 23 y era estudiante de posgrado de filosofía en la Universidad de Cambridge, después de haber obtenido una licenciatura de física en Harvard. Para Lloyd, lo que realmente está sucediendo es que las cosas están cada vez más correlacionadas entre sí; la flecha del tiempo es una flecha de correlaciones (cuánticas) crecientes. Esta idea, que presentó en su tesis doctoral de 1988, pareció un desvarío. Fue rechazada por las revistas científicas y Lloyd creyó que iba a tener que terminar conduciendo un taxi. Ahora es profesor en el MIT y sus teorías están atrayendo el interés de sus colegas.

A diferencia del cosmólogo británico Julian Barbour, que propone una física sin tiempo argumentando que no existe más que como ilusión, a lo que agrega que no tenemos ninguna evidencia del pasado más allá de nuestro recuerdo de él, del mismo modo en que no hay evidencia de un futuro que no sea nuestra creencia en su existencia, el filósofo de la ciencia Tim Maudlin, profesor en la Universidad de Nueva York, opina que los físicos se apuran a sostener que nuestra visión convencional es errónea. (98) A contramano de todas las especulaciones precedentes, Maudlin acepta la existencia de la flecha del tiempo, considera que el tiempo es una propiedad fundamental de la naturaleza, es real y no una ilusión o un artefacto de nuestra percepción. Intenta aplicar la matemática, la física y la filosofía a una hipótesis más cercana a nuestra experiencia. Aunque la física conceptualiza el tiempo básicamente del mismo modo que el espacio, su programa de Nuevas Bases para una Geometría Física intenta repensar la topología de forma tal que permita una mejor distinción entre tiempo y espacio.

También Ilya Prigogine se opuso a la reversibilidad de la flecha del tiempo. A los 20 años, el filósofo ruso escribió su primer artículo científico sobre el tema que iba a ocuparlo el resto de su vida: ¿el futuro está

predeterminado o se va construyendo a medida que el ser humano y la sociedad progresan? (99) Nacido en Moscú meses antes de la Revolución rusa, el 25 de enero de 1917, y radicado en Bélgica después de peregrinar por Alemania casi una década, el profesor de la Universidad Libre de Bruselas (que llegó a ser pianista antes de dedicarse a la investigación) combinó su carrera científica con su interés por el arte y la filosofía. “La ciencia –dijo durante una visita a Buenos Aires para participar de la inauguración del Instituto Internacional de Investigaciones Científicas de la Universidad del Salvador– es un elemento de la cultura. Veo mi trabajo como una reconciliación, porque demuestra que el problema del tiempo puede ser abordado por la ciencia y desemboca en la filosofía.” Para Prigogine, el tiempo era la dimensión perdida de la física, y sus esfuerzos de toda la vida se encaminaron a entender su papel en el universo. “El hecho de que en la química y en la física el pasado y el presente pudieran jugar el mismo papel me pareció extraño –dijo en aquella oportunidad–. Era contradictorio con nuestra experiencia sensible. Cualquiera sabe que mañana no es lo mismo que hoy. Sin embargo, los químicos y los físicos describían un universo donde el pasado y el presente eran idénticos, sin tiempo, reversibles.”

En 1977, después de haber sido marginado por casi veinte años, se le concedió el Premio Nobel de Química, fundamentalmente por su trabajo en lo que denominó *estructuras disipativas*, procesos irreversibles como la transformación que los seres vivos realizan de la energía química en trabajo y calor. Llamó al tiempo *la dimensión perdida* y consideraba que la relatividad clásica y la mecánica cuántica lo habían reducido a un parámetro, sin distinción entre el pasado y el futuro, algo muy menor comparado con lo que vemos alrededor nuestro, la evolución en todos los niveles: biológico, humano y cosmológico. (100) Para el filósofo, el universo es el resultado de una transición de fase en gran escala, una inestabilidad o el resultado de una transformación irreversible de otro estado físico: cuando el tiempo se transformó en materia. La ruptura de la simetría en el espacio es consecuencia de una ruptura en la simetría temporal, es decir, de una diferencia entre el pasado y el futuro. La materia lleva consigo el signo de la flecha del tiempo: “Mi trabajo se relaciona con la unificación entre varios campos de la ciencia, entre una visión biológica del mundo y una visión estrictamente física – declaró–. Por supuesto, estas cuestiones se discuten filosóficamente desde hace cientos de años. Pero lo que me interesa a mí es discutir las en forma matemática y probar cosas, no solamente decirlas”. Lo cierto es que, a pesar

de los grandes avances en la comprensión de cómo funciona, nadie todavía pudo descubrir cuál es la naturaleza del tiempo o por qué parece diferente de las tres dimensiones del espacio (alto, largo y ancho).

EL PASO DEL TIEMPO [...], UN FLUJO UNIFORME Y UNIVERSAL QUE NOS TRANSPORTA INEXORABLEMENTE DE UN PASADO QUE NO PODEMOS VOLVER A VISITAR A UN FUTURO QUE NO PODEMOS CONOCER, ES QUIZÁS LA EXPERIENCIA MÁS FUNDAMENTAL DE NUESTRA EXISTENCIA.

Para el cosmólogo argentino Matías Zaldarriaga, algunas de las hipótesis que se mencionan en libros de divulgación son un poco exageradas o confusas. “En el problema del tiempo hay dos partes –explica por Skype desde su oficina–. Por un lado, cómo funciona el tiempo y cómo avanza la entropía. Eso se entiende. Ahora, ¿por qué hay un tiempo? o ¿podría haber situaciones en las que no hubiera un tiempo? A eso todavía no sabemos qué contestar.” Zaldarriaga titubea, avanza y vuelve sobre sus pasos, reflexiona mientras habla tratando de transmitir en palabras sencillas los vericuetos de una de las áreas más complejas y difíciles de imaginar de la ciencia actual. “Que tienda al desorden sí se entiende –sigue–. Siempre se va a tender al desorden, se empieza donde se empieza. Ahora, si [el universo] ya empieza en algo muy desordenado, no tiene mucho más desorden que ganar; pero no importa cómo se empieza, siempre en el futuro va a ser más desordenado. También depende un poquito de cómo uno lo piense, el cálculo exacto que haga, pero siempre se va a dar el caso de que en el pasado va a estar más ordenado. El universo en particular empezó bastante ordenado. Ahora, por qué era tan ordenado no lo sabemos. Las cosas que se escuchan, por ejemplo, que el tiempo puede ir en dirección opuesta, no sé exactamente qué quiere decir. Pero si lo que se quiere expresar es que la entropía va a bajar, eso no. No va a pasar. La flecha del tiempo es verdaderamente irreversible. En general, noto un entusiasmo excesivo en torno de experimentos que muchas veces no son demasiado adecuados.”

“El paso del tiempo –dice el físico italiano Carlo Rovelli, jefe del grupo de gravedad cuántica del Centro de Física Teórica de la Universidad de Aix-

en-Marseille—, (101) un flujo uniforme y universal que nos transporta inexorablemente de un pasado que no podemos volver a visitar a un futuro que no podemos conocer, es quizás la experiencia más fundamental de nuestra existencia. Uno tras otro, sus rasgos característicos demostraron ser aproximaciones, errores determinados por nuestra perspectiva, al igual que la Tierra plana o la rotación del Sol. El crecimiento de nuestro conocimiento llevó a una lenta desintegración de nuestra noción del tiempo. Lo que nos quedó es un paisaje vacío y azotado por el viento casi desprovisto de todo rastro de temporalidad. Un mundo extraño que, sin embargo, sigue siendo aquel al que pertenecemos. Es como llegar a las altas montañas, donde no hay más que nieve, rocas y cielo. Un mundo despojado de su esencia, brillando con una belleza árida y perturbadora. La física en la que trabajo, la gravedad cuántica, es un intento de comprender y dar un significado coherente a este paisaje extremo y hermoso.” Y agrega: “En la búsqueda del tiempo, cada vez más alejado de nosotros, quizás hayamos terminado por descubrir algo de nosotros mismos, tal como le ocurriera a Copérnico que, creyendo estudiar los movimientos de los cielos, terminó por descubrir cómo se movía la Tierra bajo sus pies”.

72- J. L. Borges, “Nueva refutación del tiempo”, en *Otras inquisiciones*, Buenos Aires, Sudamericana, 2011.

73- F. Blanck de Cereijido, *Del tiempo. Cronos, Freud, Einstein y los genes*, México, Folios Ediciones, 1983.

74- Cit. en S. Carroll, *From eternity to here: the quest for the ultimate theory of time*, Londres, Oneworld, 2010 [ed. cast.: *Desde la eternidad hasta hoy: en busca de la teoría definitiva del tiempo*, Barcelona, Debate, 2015].

75- Heráclito, “Fragmentos”, en *Los presocráticos*, México, FCE, 1980.

76- Cit. en F. Blanck de Cereijido, *Del tiempo. Cronos, Freud, Einstein y los genes*, ob. cit.

77- H. Reichenbach, *El sentido del tiempo*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1988.

78- Cit. en F. Blanck de Cereijido, “El tiempo en la física”, en ob. cit.

79- S. Hawking, *Historia del tiempo*, Madrid, Anaya, 1996.

80- K. Wright, “El tiempo biológico”, *Investigación y Ciencia*, nº 314, noviembre de 2002.

- 81- N. Bär, “Investigadoras argentinas descubrieron una pieza clave que sincroniza los relojes biológicos del cerebro”, *La Nación*, 4-04-2017.
- 82- F. Ceriani, L. Frenkel y otros, “Organization of circadian behavior relies on glycynergic transmission”, *Cell Reports*, 19(1): 72-85, abril de 2017.
- 83- Se trata de una destacada científica argentina que, entre otras distinciones, recibió en 2011 el Premio Internacional L’Oréal-Unesco para la Mujer en la Ciencia, otorgado a una sola investigadora por continente.
- 84- Según Ceriani, en la última década se descubrió que también hay relojes periféricos que permiten sincronizar la fisiología usando claves distintas de la luz. Una de ellas es la alimentación. De hecho, hay trabajos que sugieren que en realidad la causa principal del *jet lag*, la dificultad de resincronizarse cuando uno sufre una disrupción por desplazarse rápidamente a través de varios husos horarios, tiene más que ver con los efectos en la microbiota que en lo que ocurre en el resto del cuerpo. Si la microbiota se sincroniza más rápido, al animal le va mejor.
- 85- R. Levine, *Una geografía del tiempo*, Buenos Aires, Siglo XXI, 2006.
- 86- P. Davies, “La flecha del tiempo”, *Investigación y Ciencia*, nº 314, noviembre de 2002.
- 87- L. Billings, “2 futures can explain time’s mysterious past”, *Scientific American*, 8-12-2014.
- 88- S. Carroll, ob. cit.
- 89- *Ibíd.*
- 90- T. Kitching, “What is time, and why does it move forward?”, *The Conversation*, 22-02-2016.
- 91- S. Carroll, ob. cit.
- 92- Lanza es director científico del Instituto Astellas para la Medicina Regenerativa y coautor (junto con Bob Berman) de *Biocentrism. How life and consciousness are the keys to understanding the true nature of the universe*, Dallas, BenBella Books, 2009. En 2014, la revista *Time* lo incluyó dentro de las “cien personas más influyentes del mundo”. La revista *Prospect* lo consideró uno de los cincuenta mejores pensadores del mundo en 2015. Escribió más de treinta libros científicos y trabajó estrechamente con el destacado psicólogo de Harvard, Burrhus F. Skinner, y con el pionero del trasplante de corazón, Christiaan Barnard.
- 93- R. Lanza, “The arrow of time? It’s all in our heads”, *Discover*, 26-09-2016.
- 94- D. Podolskiy y R. Lanza, “On decoherence in quantum gravity”, *Annalen der Physik*, 528(9-10): 663-679, septiembre de 2016.
- 95- En 1935, el físico austríaco Erwin Schrödinger realizó un experimento mental para exponer las rarezas de la mecánica cuántica. Propuso un sistema formado por una caja cerrada y opaca con un gato en su interior, una botella de gas venenoso y un dispositivo que contiene una sola partícula radiactiva con una probabilidad del 50% de desintegrarse en un

tiempo dado, de modo que, si lo hace, se libera el veneno que mata al gato. Al terminar el tiempo establecido, la probabilidad de que el dispositivo se haya activado y el gato esté muerto es del 50%, y lo mismo para la probabilidad de que no se haya activado y el gato esté vivo. Según los principios de la mecánica cuántica, habrá una superposición de los estados “vivo” y “muerto”. Sin embargo, una vez que se abra la caja, el gato estará o vivo o muerto.

96- N. Wolchover, “Time’s arrow traced to quantum source”, *Quanta Magazine*, 16-04-2014.

97- Lloyd es investigador principal del Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por su sigla en inglés) y dirige el Centro para la Teoría de Información Cuántica Extrema.

98- Cit. en E. Tse, “In defense of the reality of time”, *Quanta Magazine*, 21-05-2017.

99- N. Bär, “A los 86 años murió Ilya Prigogine”, *La Nación*, 30-05-2003.

100- N. Bär, “El caos es una fuerza unificadora”, *La Nación*, 31-10-1994.

101- C. Rovelli, *El orden del tiempo*, Barcelona, Anagrama, 2018.

CAPÍTULO 5

¿CÓMO SURGIÓ LA VIDA?

Hay que ser muy insensible para no desconcertarse frente a la inconmensurable diversidad de la vida. Los biólogos la descubren y la catalogan en las profundidades del océano, en la cima de las montañas, en lagunas tan saladas que emulan las condiciones reinantes en Marte ¡y hasta en pozos petrolíferos! Hay árboles que llegan a vivir dos mil quinientos años, como los baobabs; lagartos (como el *Leiolepis ngovantrii*), cuyas hembras se reproducen sin necesidad de machos (se clonan), y gusanos de diez centímetros de largo con forma de calamar (el *Teuthidodrilus samae*).

A pesar de la acción depredadora de la especie humana, se calcula que existen todavía alrededor de un millón de especies de insectos, unas cuatro mil trescientas de mamíferos, unas dieciocho mil de aves y algunos calculan que las variedades de bacterias alcanzan los mil millones (aunque el Código Internacional de Nomenclatura de Bacterias reconoce 8233). Suena increíble, pero se cree que todavía resta descubrir el 86% de las especies terrestres y el 91% de las marinas.

Si ya todo esto deja sin palabras, hay algo tal vez más alucinante: como sugirió Darwin en su obra maestra, *El origen de las especies* (cuya primera edición, de mil doscientos cincuenta ejemplares se agotó el primer día que se puso a la venta, el 24 de noviembre de 1859), este colorido abanico de organismos evolucionó a partir de una única forma de vida primordial. Para producir toda esta variedad inabarcable bastaron pequeños cambios en los nucleótidos, es decir, en los eslabones de la cadena del ADN, una mutación beneficiosa en una molécula que mide una diezmillonésima de centímetro copiada en la generación siguiente.

Pero si la evolución ya fue probada y confirmada incontables veces, lo que permanece sin resolver es cómo se dio el salto de la materia inerte a la primera forma de vida. La pregunta, de larga data, todavía no encuentra respuesta más allá de las especulaciones (y hay quienes piensan que nunca la encontrará). “Los primeros registros de vida datan de hace tres mil ochocientos millones de años –me explica Diego Balseiro, investigador del

Conicet en el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de Córdoba, Argentina—. Y son tan pocos que solo nos permiten inferir lo que pudo haber pasado a partir de lo que sabemos que cambió en la química de los mares o lo que especulamos acerca de cómo pudo haber comenzado la respiración.”

Otra limitación es que, con las técnicas actuales, solo se pueden datar rocas a partir del momento en que se encuentran por debajo de cierta temperatura. Se cree que los primeros objetos del sistema solar se formaron hace algo más de cuatro mil quinientos cincuenta millones de años y que la Luna se desprendió de la Tierra por el impacto de un asteroide gigante hace entre cuatro mil quinientos y cuatro mil cuatrocientos millones de años. Mientras tanto, el planeta se fue diferenciando en núcleo, manto y corteza, ya que al principio era un océano fluido de magma. Al enfriarse, se formaron las primeras rocas, que son las que pueden datarse. Los registros disponibles les asignan unos cuatro mil millones de años. (102) “Se cree que las primeras formas de vida se dieron poco después en chimeneas hidrotermales como las que se encontraron en las dorsales del fondo oceánico, donde hoy viven las bacterias extremófilas”, destaca Balseiro. Sin embargo, esta es solo una de las teorías en danza. Ya Aristóteles, que sistematizó la suma del conocimiento antiguo, propuso una hipótesis, la única que podía sostenerse para justificar un acontecimiento tan complejo y singular: el sabio griego creyó que la vida había surgido por “generación espontánea”. Durante milenios muchos apoyaron esta visión. En 1667, un naturalista belga llamado Jan Baptiste van Helmont escribió en su obra *Ortus medicinae* (103) que “las criaturas como los piojos, las garrapatas, las pulgas y los gusanos son nuestros miserables huéspedes y vecinos, pero nacen de nuestras entrañas y excrementos. Porque si colocamos ropa interior llena de sudor con trigo en un recipiente de boca ancha, al cabo de veintiún días el olor cambia, y el fermento, surgiendo de la ropa interior y penetrando a través de las cáscaras de trigo, cambia el trigo en ratones. Pero lo más notable aún es que se forman ratones de ambos sexos y que estos se pueden cruzar con ratones que hayan nacido de manera normal... Pero lo que es verdaderamente increíble es que los ratones que han surgido del trigo y la ropa íntima sudada no son pequeñitos, ni deformes ni defectuosos, sino que son adultos perfectos”.

La idea de la generación espontánea parecía atractiva, pero Louis Pasteur (1822-1895) se ocuparía de refutarla. Hoy, muchas personas le asignan a la vida un inicio divino o sobrenatural por la gracia de un creador supremo. Quienes aspiramos a una explicación basada en evidencias sabemos más o

menos cuándo empezó, pero no cómo.

Es lo que le preguntaban una y otra vez a Darwin, que asombró al mundo intelectual de su tiempo con la idea de que la sucesión de especies en el pasado estuvo determinada por cambios ambientales y por la capacidad genética de los seres vivos para adaptarse ventajosamente a dichos cambios. La respuesta, por supuesto, no era simple. En 1863, en una carta a Joseph Hooker, en ese momento secretario de la Royal Society, le escribe: “Por el momento es una pura idiotez pensar en el origen de la vida; lo mismo podríamos ponernos a pensar en el origen de la materia”. (104) Pero doce años después cambió de opinión. En otra carta a su colega, menciona una idea que prosperaría: la del “pequeño estanque cálido”: “Se dice con frecuencia que en la actualidad se dan todas las condiciones que hayan podido existir en otros tiempos para la generación de organismos vivos. Pero... si pudiéramos imaginar que en un pequeño estanque cálido, con toda clase de sales amoniacales y fosfóricas, calor, electricidad, etc., se formara químicamente un compuesto proteínico capaz de experimentar cambios aún más complejos...”. Intuitivamente, Darwin sugería que podían darse ciertas circunstancias en las que la vida podría surgir de materiales inorgánicos. Y, después de *El origen de las especies*, no solo él sino también otros muchos naturalistas comenzaron a creer que los organismos vivientes eran el producto histórico de la transformación gradual de la materia inerte, una visión que apoyaron los desarrollos de la bioquímica y la biología celular. (105)

YA ARISTÓTELES, QUE SISTEMATIZÓ LA SUMA DEL CONOCIMIENTO ANTIGUO, PROPUSO UNA HIPÓTESIS, LA ÚNICA QUE PODÍA SOSTENERSE PARA JUSTIFICAR UN ACONTECIMIENTO TAN COMPLEJO Y SINGULAR: EL SABIO GRIEGO CREYÓ QUE LA VIDA HABÍA SURGIDO POR “GENERACIÓN ESPONTÁNEA”.

En 1868, Ernst Haeckel sugirió, en una serie de conferencias, que los primeros seres vivos pudieron aparecer en la Tierra primitiva por agrupación espontánea de sustancias químicas. (106) En las décadas siguientes, se siguió estudiando esta posibilidad, hasta que en noviembre de 1923, un joven bioquímico llamado Alexander Ivanovich Oparin, director asociado del

Instituto de Bioquímica de la Academia de Ciencias de la entonces Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, publicó en Moscú un breve libro llamado *The origin of life*. (107) En esa obra, aceptaba la idea de un protoplasma primordial, pero además proponía que la vida había sido precedida por un largo período de síntesis abióticas y acumulación de compuestos orgánicos en una “sopa primordial”. Su punto de partida era que la atmósfera de la Tierra joven era muy diferente a la de la actual. En lenguaje químico, era una atmósfera “reductora”, prácticamente desprovista del oxígeno libre que ahora sostiene a los organismos vivos. El oxígeno que había en aquella época estaba combinado en compuestos químicos con hidrógeno (formando agua, H₂O) y con carbono (formando dióxido de carbono, CO₂). También debía de existir algo de monóxido de carbono (CO) y todavía habría más carbono en la atmósfera, combinado con hidrógeno para formar metano (CH₄). El nitrógeno, que ahora es el componente predominante de la atmósfera (hasta un 80%), estaría presente en forma de amoníaco (NH₃). (108) El acierto de Oparin fue plantear que a partir de estos componentes podrían haberse formado compuestos orgánicos sencillos mediante reacciones químicas inducidas por la radiación ultravioleta del Sol, y que los productos de esas reacciones pudieron haberse acumulado en los océanos combinándose hasta producir formas vivas. Doce años más tarde, el científico ruso publicó un segundo volumen más fundamentado, pero con el mismo título, en el que analizaba datos de diferentes campos para respaldar su argumento de que un medio altamente reductor, en el que los precursores moleculares de la vida, incluyendo compuestos similares a las proteínas, se habían formado de forma abiótica y se habían acumulado en gotitas ricas en polímeros orgánicos, (109) de los cuales habían evolucionado las primeras bacterias anaeróbicas (capaces de vivir en un medio sin oxígeno) y heterotróficas (seres vivos que requieren de otros para alimentarse; es decir, que no son capaces de producir su alimento dentro de su propio organismo y deben consumir alimentos ya sintetizados por otros). (110)

Como muchos de sus contemporáneos, Oparin estaba convencido de que los “coacervados” (gotitas microscópicas aisladas del medio acuoso por una membrana primaria en las que se desarrollan reacciones químicas que dan lugar a sistemas cada vez más complejos) podrían haber existido en los océanos primitivos y haber sido precursores de organismos celulares.

Teorías similares fueron publicadas en 1924 por el geoquímico Charles

Lipman, el genetista John B. S. Haldane y el microbiólogo R. B. Harvey. Este último argumentó que la vida había evolucionado por primera vez en una fuente termal, donde la alta temperatura permitiría reacciones químicas a un ritmo significativo incluso aunque los primeros seres vivientes tuvieran solo un puñado de enzimas.

En 1946, el biólogo y genetista estadounidense Hermann Joseph Muller (1890-1967) recibió el Premio Nobel de Fisiología o Medicina por demostrar que el número de mutaciones genéticas observadas en las moscas de la fruta se multiplicaban cuando eran expuestas a la acción de los rayos X, una evidencia que respaldaba la teoría de que la radiación llegada del espacio podría haber generado cambios que condujeron a la vida. Pero sería Haldane quien haría la propuesta más significativa. Argumentó, como Oparin, que el origen de la vida había sido precedido por la síntesis de compuestos orgánicos. Basándose en los experimentos del químico británico Edward C. C. Baly, profesor de química inorgánica de la Universidad de Liverpool, además de músico y alpinista aficionado que había sintetizado aminoácidos y azúcares por la irradiación ultravioleta de una solución de dióxido de carbono en agua, Haldane sugirió que la ausencia de oxígeno en la atmósfera primitiva había conducido a la síntesis de compuestos orgánicos y a la formación de una “sopa diluida caliente”. También sugirió que los virus eran un paso intermedio en la transición de la sopa prebiótica a las primeras células heterótrofas. Para él, la vida puede haberse mantenido en el estadio de los virus durante muchos millones de años antes de que se produjera un ensamblaje de unidades elementales para la primera célula. (111) Esta afirmación supone que los virus son microorganismos primitivos, ancestros de las células, cuando en realidad los virus son partículas que evolutivamente emergieron de células preexistentes.

Más tarde se intentó crear vida en el laboratorio a partir de la irradiación en entornos similares a los que se daban en la Tierra primitiva, aunque sin éxito. Pero eso empezaría a cambiar en 1951, cuando Stanley Miller, un estudiante llegado a Chicago después de graduarse en la Universidad de Berkeley, en California, asistió a un seminario que daba el premio Nobel Harold Urey (el primero en obtener deuterio y en aislar agua pesada) acerca del origen de la vida en el sistema solar. Allí, Urey sugirió que sería interesante simular las condiciones de la Tierra primitiva para probar la posibilidad de la síntesis de compuestos.

Miller se quedó pensando en esa propuesta y, casi un año y medio más

tarde, se acercó a Urey para plantearle la posibilidad de hacer un experimento de síntesis abiogénica usando una mezcla de gases reductores. Diseñó un aparato para simular el sistema del océano y la atmósfera en la Tierra primitiva; lo llenó con amoníaco, metano e hidrógeno, además de agua hirviendo, y lo sometió a la acción de descargas eléctricas que alcanzaron los 60.000 voltios entre electrodos de tungsteno durante una semana. Las reacciones generaron mezclas de proteínas y aminoácidos, así como urea y otras moléculas orgánicas. (112) Curiosamente, el *paper* de Miller se publicó justo dos semanas después del artículo en el que dos jóvenes científicos que trabajaban en la Universidad de Cambridge, James Watson y Francis Crick, revelaban “el secreto de la vida”: la estructura de la doble hélice del ADN...

El experimento de Miller fue una demostración palmaria de las ideas de Oparin y tuvo un impacto extraordinario. A partir de diferentes mezclas de metano, nitrógeno y agua con distintas cantidades de amoníaco obtuvo diez de los veinte aminoácidos que aparecen de manera natural en las moléculas de las proteínas modernas. Los productos más comunes, glicina y alanina, dos de los aminoácidos que forman las proteínas de los seres vivos, aparecieron en cantidades sorprendentemente grandes. Como cerca del 3% del metano consumido en la cubeta de reacción se transformaba en alanina, Miller calculó que, si en la Tierra primitiva la radiación ultravioleta del Sol hubiera producido aminoácidos con la misma eficiencia, se habrían obtenido más de 100.000 toneladas de alanina al año.

Es sorprendente que debieran transcurrir nada menos que treinta años hasta que a alguien se le ocurriera poner a prueba las teorías de Oparin. Al parecer, según contó Miller, Harold Urey le había recomendado que no perdiera el tiempo con un ejercicio tan especulativo ya que no le sumaría mucho si aspiraba a una carrera académica. Precisamente, una dificultad superlativa que tiene dedicarse a estudiar el origen de la vida es que se trata de un acontecimiento único, cuyas circunstancias particulares son muy difíciles de replicar y del que no quedan rastros, ya que los primeros organismos deben haber sido gelatinosos y sin partes óseas. (113) Incluso hay quienes, como el astrofísico Fred Hoyle, plantean que el hecho de que hayan surgido seres vivos de la materia inerte es tan improbable como que un tornado que pasa por un cementerio de autos logre construir un Boeing 747 a partir de las piezas sueltas que encuentra en su camino. Matemáticamente, la posibilidad de que una molécula como las enzimas, que pueden constar de cien o más aminoácidos empalmados a partir de componentes elementales, se genere por

procesos casuales es casi nula. La cantidad de moléculas de proteína que se pueden formar con cien unidades ordenadas de maneras diferentes es inimaginablemente grande, mucho mayor que el número de partículas de materia en todo el universo observable. (114)

Francis Crick se mostró igual de escéptico. Consideró que la posibilidad de que las largas moléculas poliméricas que mantienen la vida de todos los seres vivos –las proteínas y el ADN– se montaran por procesos al azar a partir de las unidades químicas que las componen es tan ínfima que lleva a pensar que la Tierra podría haber sido fertilizada desde otra parte, tal vez desde el espacio interestelar. La hipótesis (llamada *panspermia*) de que la sustancia de la vida llegó desde otras partes del universo fue propuesta en el siglo XX por el premio Nobel de Química de 1903 Svante Arrhenius, entre otros, y surge del descubrimiento de que entre las estrellas hay nubes de gas, polvo y materia con docenas de moléculas orgánicas. Pero, además, las rocas lunares que trajeron a su regreso las misiones Apolo que visitaron nuestro satélite natural entre 1968 y 1972 revelaron que hace entre cuatro mil doscientos y cuatro mil millones de años este soportó un intenso bombardeo de objetos celestes (meteoritos, cometas) que lo sembraron de cráteres, lo que condujo a suponer que algo similar podría haber ocurrido con la joven Tierra.

Un trabajo publicado en agosto de 1996, por ejemplo, dio cuenta de que se habían detectado huellas de vida primitiva en meteoritos procedentes de Marte. (115) ¿Habrán llegado los primeros organismos desde nuestro vecindario cósmico? Bueno, esta idea también tiene sus inconvenientes. Por ejemplo, no explica cómo pudieron sobrevivir a la agresión de los rayos cósmicos durante su largo viaje a través del espacio y soportar la fricción en su ingreso en la atmósfera terrestre. Además, hay otro problema y es que están sujetos a la misma inconsistencia lógica que presenta la creación por un Gran Diseñador (si se supone esto, la cuestión que sigue es quién creó al Diseñador, y luego, quién creó al que creó al Diseñador, y así *ad infinitum*): es igualmente difícil explicar cómo se ensambló la vida en otro hipotético lugar de origen. Por eso, los científicos más bien se inclinan por otra secuencia de acontecimientos. En 2017, un trabajo de investigadores de la Universidad McMaster y el Instituto Max Planck (116) agregó evidencias al argumento de que la vida podría haberse originado tras el impacto de meteoritos en pequeños estanques cálidos (sí, aquellos en los que había pensado Darwin). Sus estimaciones sugirieron que los ciclos húmedos y secos unieron bloques básicos que habrían formado moléculas de ácido ribonucleico (ARN)

autorreplante, el primer plano genético para la vida en la Tierra. Basaron su conclusión en cálculos exhaustivos en los que cruzaron nociones de astrofísica, geología, química, biología y otras disciplinas. Aunque el concepto de “pequeños estanques cálidos” existe desde hace más de un siglo y medio, ellos demostraron su plausibilidad matemática. Ben K. D. Pearce y Ralph Pudritz afirmaron que la evidencia disponible sugiere que la vida comenzó cuando la Tierra todavía estaba tomando forma, los continentes emergían de los océanos, los meteoritos caían sobre el planeta y todavía no había ozono protector para filtrar los rayos ultravioleta del Sol.

La chispa inicial, dicen los autores, fue la creación de polímeros de ARN que alcanzaron concentraciones suficientes y se unieron mientras los niveles de agua crecían y decrecían de acuerdo con los ciclos de precipitación, evaporación y drenaje. Para comprender cómo puede haber ocurrido esto es imprescindible entender de qué modo funciona la llave maestra de la vida. “El ‘código genético’ es un término que se aplica al ‘diccionario’ que usan las células para traducir el lenguaje de los nucleótidos o bases de los ácidos nucleicos al lenguaje de aminoácidos de las proteínas –me dice Alberto Kornblihtt, director del Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias del Conicet–. Es universal, porque todos los organismos, desde las bacterias hasta los humanos, tienen uno. Cuando nos referimos a la información que está codificada en el ADN, preferimos usar el término ‘información genética’, que es distinta en un ratón, en un ombú, en una mujer... El código es un diccionario. Es como si nos entregaran un libro en chino, que no entendemos, pero usando el diccionario podemos escribirlo en castellano. El libro está escrito en ADN, pero las proteínas están escritas en aminoácidos [las moléculas orgánicas que son los ‘ladrillos’ de las proteínas]. Llamamos ‘código genético’ al diccionario que cada tres bases del ADN o ARN codifican un aminoácido. Tres ‘A’ (adenina, adenina, adenina) es el aminoácido lisina, tanto en las bacterias como en el trigo. ‘UUU’ es fenilalanina, ‘AUG’ es el aminoácido metionina... A eso lo llamamos ‘código genético’. Ahora, el orden de las bases del ADN se llama ‘información genética’.”

El ADN envía sus instrucciones para la síntesis de proteínas en el citoplasma (la parte de la célula que rodea el núcleo y está limitada por la membrana) que se transcribe en ARN. Pero, para Kornblihtt y otros, lo más factible es que las primeras células todavía no tuvieran ADN sino solo ARN. “Más aún –agrega el científico–, Thomas Cech, premio Nobel por el

descubrimiento de las ribozimas [enzimas hechas de ARN y no de proteína], siempre bromea diciendo que el ADN es un subproducto del ARN. Y tiene razón. Lo más probable es que las primeras células tuvieran ARN que servía para dos cosas: para lo que hoy sirve el ADN –es decir, para codificar la información y replicarse de manera que las células hijas tengan la misma información que la célula madre–, pero también como enzima, porque no había proteínas. Así, tal vez en las primeras células un mismo tipo de molécula química, que es el ácido ribonucleico o ARN, cumplía las dos funciones, que son la información y el metabolismo. Es lo que los biólogos llamamos el ‘mundo del ARN’. Es un mundo que debe haber existido durante unos cientos de millones de años y que no dejó ninguna célula viva descendiente tal cual. Un mundo de organismos posiblemente unicelulares, que surgieron, pero que se extinguieron. Eran probablemente como bacterias y dieron lugar a un nuevo tipo de célula que es aquella en la que la información genética está en una molécula llamada ‘ADN’, y el metabolismo lo lleva a cabo un nuevo tipo de moléculas, llamadas ‘proteínas’. En estas, el ARN sigue existiendo como intermediario entre el ADN y las proteínas.”

Aunque aclara que todas son especulaciones, porque no hay registro fósil, lo importante es que esta es una cadena de acontecimientos concebible que responde a las leyes de la física y de la química. “Como lo describo de forma más poética en mi ensayo *La duración de los días*, (117) la primera célula, la que dio origen a todas las demás, no fue la primera, fue la primera que resultó exitosa. Antes de esa hubo otras no exitosas, que son las del mundo del ARN. Estamos casi seguros de que todos los seres vivos provenimos de un único tipo de célula original, lo que se conoce como ‘origen monofilético de la vida’. Pero eso no quiere decir que no hayan existido otros intentos, otros eventos azarosos, que dieron lugar a células, que seguramente pudieron reproducirse, pero que con el tiempo desaparecieron y entre las que solo perduró aquella que adquirió una molécula terriblemente estable, como es el ADN. El ADN le gana al ARN por su gran estabilidad.”

Aunque vista desde hoy esta historia parece consistente, el abismo que existe entre la sopa de moléculas orgánicas y el mundo del ARN es enorme. Por eso, los biólogos tienden a pensar que solo fue posible superarlo gracias a dos componentes esenciales: la muerte y el tiempo. La muerte de los organismos que no se adaptan a su entorno y el tiempo suficiente para la lenta acumulación de rasgos producidos por mutaciones favorables. (118) Estos dos ingredientes, afirman, alumbraron toda la maravillosa diversidad que hoy nos

deslumbrante: la que se encuentra en pozos de petróleo, en la Antártida, en el interior de los volcanes y en el fondo del mar.

Algunas de las criaturas más desconcertantes fueron descubiertas gracias a *Alvin*, un pequeño submarino diseñado para ser tripulado por dos personas que permitió descender a más de 4500 metros y descubrir insospechados jardines de criaturas exóticas que florecen en las fumarolas de las dorsales oceánicas. Con siete propulsores, puede maniobrar en esa rugosa topografía o permanecer durante horas detenido en el fondo recogiendo datos, produciendo mapas y tomando fotos. Además, tiene dos brazos robóticos para manipular instrumentos y obtener muestras. Propiedad del Woods Hole Oceanographic Institute, hizo su primera inmersión hace más de medio siglo y, desde entonces, no cesa de retratar organismos que desafían a los creadores de novelas de ciencia ficción, desde gigantes gusanos tubulares de 2 metros de largo, hasta mejillones amarillos grandes como una papa o anémonas y almejas gigantes. “Cuando estás allí abajo, realmente entendés que este entorno fue la cuna de la vida en la Tierra”, contó Cindy van Dover, directora del Laboratorio Marino de la Universidad de Duke, en Durham, una de las pocas personas que visitó esos reinos inaccesibles para el común de los mortales. “Podés imaginar cómo se formaron las primeras células a partir de los elementos químicos y las arcillas, y cómo pudo ayudarlas el medio ambiente cálido. Entonces, pensás: ‘Puede que hoy día se den los mismos procesos, porque sigue siendo el mismo entorno’. La diferencia es que, cuando comenzaron, las formas de vida originales no tenían depredadores, porque no había nada más. Ahora siempre se las come algo más grande.” (119)

Desde que en 1977 el *Alvin* descubrió chimeneas hidrotermales en el fondo del océano Pacífico por las que emanan minerales de hierro, azufre y algunos gases, como metano y sulfuro de hidrógeno, y donde florece un variado número de bacterias primitivas, muchos pensaron que esos sitios a salvo de los cataclismos que provocaban convulsiones en la superficie terrestre hace unos cuatro mil millones de años podrían haber aportado la energía, los nutrientes y el ambiente seguro necesarios para originar la vida. Pero, para otros, esa teoría plantea varios problemas. Uno de ellos es que las moléculas se diluirían demasiado rápido en las inmensidades del océano como para poder interactuar, formar membranas celulares y desarrollar el metabolismo primitivo. (120) Como alternativa, se plantea que ese acontecimiento único ocurrió en las fuentes termales de origen volcánico, donde se registró una sucesión de ciclos húmedos y secos que facilitaron la interacción y la

selección natural.

Algunos hallazgos respaldan estas ideas, como los rastros de biopelículas encontrados en Australia, en rocas sedimentarias de 3480 millones de años conocidas como *formación Dresser*. En unas capas onduladas blancas y anaranjadas, denominadas *griseritas*, creadas por acción de un géiser volcánico superficial, se observan burbujas formadas por gas que quedó atrapado en el interior de una película pegajosa que, especulan, probablemente se haya producido por una fina capa de microorganismos similares a bacterias. (121) El calor interno de estos sitios habría catalizado reacciones, los episodios secos habrían promovido que las unidades más simples se ensamblaran en moléculas más complejas, llamadas *polímeros*, que los estadios húmedos habrían hecho flotar y que, en un nuevo episodio seco, habrían quedado aislados en diminutas cavidades donde pudieron interactuar e incluso concentrarse en compartimentos formados por ácidos grasos, los prototipos de las membranas celulares. Esto mismo podría haber sucedido en otros planetas hoy carentes de océanos.

Para corroborarlo, David Deamer, profesor del Departamento de Ingeniería Biomolecular de la Universidad de California, en Santa Cruz, hizo un experimento: llevó una botella con un polvo blanco supuestamente similar a la materia prima de la Tierra prebiótica, compuesta por cuatro aminoácidos, cuatro bases nitrogenadas (los constituyentes de los ácidos nucleicos naturales), fosfato, glicerol y un tipo de lípido. Vertió la mezcla en el centro de una fuente termal hirviente de un volcán activo de la península de Kamchatka, en el extremo oriental de Rusia, y, al cabo de unos minutos, se originó en el borde una espesa espuma formada por innumerables vesículas diminutas, cada una de las cuales contenía los compuestos que había en el caldo primitivo. Acto seguido, el científico y su equipo se preguntaron si era posible que los elementos, ya próximos entre sí y compartimentados, se ensamblaran. De modo que se dirigieron al laboratorio, mezclaron ácidos nucleicos simples con lípidos, sometieron la mezcla a ciclos de humidificación y secado en las condiciones ácidas y de alta temperatura que presentaba la fuente termal de Kamchatka, y obtuvieron polímeros de entre diez y más de cien nucleótidos. Después los analizaron con difracción de rayos X y vieron que esas moléculas eran similares al ARN. Comprobaron también que quedaban encapsuladas por los lípidos y formaban así un enorme número de compartimentos microscópicos. No estaban vivas, pero bien podría haber sido ese un paso hacia la vida.

Tratando de imaginar el ciclo de eventos que debieron haberse encadenado para generar las primeras formas de vida, teorizaron que cada ciclo seco causaría la apertura de las membranas lipídicas de las vesículas, lo que permitiría que se mezclaran los polímeros con los nutrientes. Al volver a humedecerse, las membranas volverían a encapsular otras mezclas de polímeros, de forma que cada una de ellas representaría un tipo distinto de experimento natural. Las protocélulas más complejas tendrían más probabilidades de sobrevivir, dado que su mayor variedad de mezclas moleculares podría estabilizarlas en distintas situaciones: un conjunto de moléculas resultaría favorable en ciertas condiciones, mientras que otro lo sería en otras. Estas protocélulas sobrevivirían y transmitirían sus conjuntos de polímeros a la siguiente generación, con lo que lograrían ascender en la cadena evolutiva. Algo así como una especie de computadora química que iniciaría las funciones vitales a partir de programas aleatorios escritos en el lenguaje de los polímeros. (122) Más tarde, imaginaron que, si a los ciclos húmedos y secos se les hubiera agregado una fase de humidificación en la que las protocélulas supervivientes se aglomeraran estrechamente en un gel, los polímeros y las moléculas nutrientes podrían mezclarse e intercambiarse a través de las barreras formadas por membranas lipídicas. Esa comunidad de protocélulas colaboradoras tendrían todavía más oportunidades de hallar las mejores moléculas para sobrevivir. Arcillas como las que se encuentran en la formación Dresser podrían haber actuado como catalizadoras en la síntesis de moléculas orgánicas complejas.

En la juventud de la Tierra, campos geotermales como este podrían haber funcionado como bancos de prueba donde se gestaron los componentes de la vida. El hecho de que hubiera cientos de ellos, cada uno con leves variaciones de parámetros químicos, como el pH, la temperatura o el contenido de iones (partículas con carga eléctrica), y con superficies de contacto altamente reactivas (entre agua y roca, agua y aire, y roca y aire), todo lo cual variaba diariamente, ofreció el enorme número de combinaciones necesarias para que se diera la molécula autorreplicante que fue precursora de la vida. Para Deamer y sus colegas, eso pudo haber ocurrido tan pronto se formó una corteza terrestre estable con masas continentales volcánicas separadas por océanos.

En nuestro mundo actual, las formas de vida más desconcertantes y que más se acercan a lo que pueden haber sido esos inicios son las que se encuentran en charcos tan salinos que harían perecer por deshidratación a casi todos los

demás organismos. Se llaman *estromatolitos* y son reliquias de grandes aglomeraciones de organismos unicelulares. Una de estas formaciones fue descubierta en 2009 por la microbióloga argentina María Eugenia Farías, investigadora principal del Conicet en la Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos (Proimi) de Tucumán.

Ocurrió mientras era parte de una expedición que había subido a estudiar el volcán Socompa, ubicado sobre el límite entre la Argentina y Chile, a 5800 metros de altura. “Faltaba poco para llegar a la cima cuando temí sentirme mal y entorpecer el trabajo de mis compañeros –recuerda–. Regresé al campamento base y al día siguiente fui a recorrer la laguna adyacente al volcán. Entré con suma cautela en una zona de riesgo, donde abundan las arenas movedizas de carbonato de sodio. En la orilla, había unas rocas que me llamaron la atención. Despedían un fuerte olor a huevo podrido, por su alto contenido sulfhídrico. Eran blandas y pegajosas al tacto.” (123) Al examinarlas detenidamente, comprobó que no eran simples rocas sino asociaciones de algas y bacterias que crecen formando estratos y producen una sustancia gelatinosa que va captando minerales de los que se alimentan.

Los estromatolitos de Socompa, los que se encuentran a más altura entre los conocidos, crecen en un medio acuático con alto contenido de arsénico, con una salinidad cinco veces mayor que la del mar y expuestos a una fuerte radiación ultravioleta. Se cree que estos microorganismos fueron los que “inventaron” la fotosíntesis, liberaron oxígeno a la atmósfera y crearon la capa de ozono que hoy nos protege. Por eso, el descubrimiento de la bióloga argentina fue considerado tan asombroso como descubrir una manada de dinosaurios vivos. Asomarse a estas rocas vivas formadas por microorganismos (bacterias, arqueas –que son microorganismos unicelulares similares a las bacterias, pero que constituyen un reino separado y carecen de núcleo– y cianobacterias) que ayudan a precipitar minerales (carbonatos de calcio) es como viajar en el tiempo a la Tierra primitiva. “Inferimos que las primeras formas de vida tienen alrededor de tres mil seiscientos millones de años no solo por los registros geológicos, sino también por los cambios en la atmósfera, el comienzo de la liberación de oxígeno y otros parámetros ambientales que se fueron dando paralelamente –cuenta Farías desde su laboratorio, en Tucumán–. Creemos que al comienzo hubo eventos de moléculas orgánicas. El ARN fue la primera molécula capaz de autorreplicarse y transferir información. Equivalentes de ese mecanismo ancestral permanecen en el virus del sida, que se transmite por ARN y produce

el ADN por retrotranscripción. Después surgió la capacidad de aislarse en una membrana lipídica, que es como una gota de aceite que se separa del agua, y adentro de la cual van a emerger capacidades como la de albergar información e intercambiarla con el medio. A la vez, en esa membrana se generaron los potenciales eléctricos que fueron capaces de generar energía. Los estromatolitos son colonias de células que se unieron y empezaron a compartimentar las actividades: los que estaban arriba obtenían energía a partir de la luz visible, las que estaban más abajo, a partir de otras longitudes de onda. Unas reciclaban el azufre, otras, el arsénico, otras, el hierro... Y, de esa forma, pudieron enfrentar condiciones tan adversas y evolucionaron hacia la fotosíntesis, que fue la gran invención de la vida en el planeta. Por un lado, los dotó de mayor eficiencia, porque respirar oxígeno da la posibilidad de obtener más energía, pero tiene la desventaja de ser oxidante. Y ahí se produce la primera extinción masiva de todos los organismos que no se adaptaron a respirarlo.” En este sentido, la Puna ofrece un laboratorio natural inigualable para imaginar los primeros días de la vida: menor presión de oxígeno, muchísima radiación ultravioleta, un ambiente reductor y alto pH. “Somos los primeros en acceder a estos metagenomas y ver cómo funcionan –destaca Farías–. Comprobamos que el arsénico es muy abundante y no es venenoso, sino que lo usan para obtener energía. El mecanismo que emplean es previo a la división entre arqueas y las bacterias.” (124)

Hoy, Farías y su equipo sigue haciendo un relevamiento de estos sistemas en América Latina. Creían que Socompa era única, pero descubrieron que toda la Puna andina tiene ecosistemas de este tipo aunque diferentes y con condiciones muy primitivas. En ochenta sitios relevados ya encontraron treinta de estos sistemas y calculan que, dado el escaso financiamiento del que disponen, les quedan diez años de trabajo por delante.

Muchos afirman que es probable que LUCA (sigla en inglés de *last universal common ancestor*), el primer organismo de la Tierra, haya aparecido simultáneamente en distintos lugares y con diferentes fórmulas químicas. Alberto Kornblihtt, aunque acepta esta posibilidad, cree que uno solo de esos eventos tuvo perdurabilidad en el tiempo: “Yo no puedo descartar que la vida haya aparecido más de una vez –afirma–. Lo que pasa es que hay muchas evidencias de que uno solo de esos eventos es el que perduró y dio lugar a todos los seres vivos. La razón para pensar esto tiene que ver justamente con el ‘diccionario’, con el código genético. Porque el código genético es lo que llamamos ‘homología fundamental’. Son sesenta y cuatro

combinaciones de tres bases, cada una de las cuales codifica un aminoácido y no hay mucha razón química por la cual un triplete codifique un aminoácido dado. Por lo tanto, es complejo y químicamente arbitrario. Lo más probable es que surgiera una sola vez y perdurara en el tiempo, porque cualquier cambio lo hubiera roto y habría sido letal. Tal vez, la vida fue un accidente muy infrecuente. Por eso, cuando se dice que, dado que hay tantas estrellas, galaxias y planetas en el universo, es muy probable que haya vida fuera de la Tierra, yo no sé si es así o no. Lo único que puedo decir es que, hasta ahora, nadie tuvo evidencia de que eso haya ocurrido en otra parte. También podría suceder que si hay vida fuera de la Tierra fuera toda bacteriana y haya seguido bacteriana por miles y miles de millones de años [...]. [La vida tal como la conocemos] es un evento de una bajísima probabilidad. Pero era mayor en el ambiente de la Tierra primitiva, porque había otro tipo de composición química en las rocas y en el agua, una mayor reactividad, influencia de cargas eléctricas de la atmósfera... Había condiciones que hoy no existen”.

**EN EL ORIGEN DE TODA CREACIÓN DE LA BIOSFERA
ESTÁ EL AZAR, UNA LIBERTAD CIEGA QUE PRODUJO UN
CASI INCONCEBIBLE ACCIDENTE QUÍMICO. PARA
MONOD, ESTE ACCIDENTE NO SOLO ES POCO
PROBABLE, SINO QUE LA POSIBILIDAD DE QUE OCURRA
ES PRÁCTICAMENTE NULA.**

Algo de esto es lo que plantea el bioquímico francés ganador del Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 1965 Jacques Monod en su ensayo *El azar y la necesidad*, (125) elaborado a partir de una serie de conferencias sobre el tema: en el origen de toda creación de la biosfera está el azar, una libertad ciega que produjo un casi inconcebible accidente químico. Para Monod, este accidente no solo es poco probable, sino que la posibilidad de que ocurra es prácticamente nula. El surgimiento de la vida, para él, fue un evento único e irrepetible, algo que pudo darse en una proporción de uno en un millón.

confirmed by atom-probe tomography”, *Nature Geoscience*, n° 7, febrero de 2014, pp. 219-223.

103- La versión digital en facsímil de esta obra (en latín) está disponible gratuitamente en: <books.google.com.ar/books?id=Z_ZLAAAACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>.

104- Cit. en J. Maddox, *Lo que queda por descubrir*, Madrid, Debate, 1999.

105- A. Lazcano, “Historical development of origins research”, en D. W. Deamer y J. Szostak (eds.), *The origins of life*, Nueva York, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2010.

106- Cit. en J. Maddox, ob. cit.

107- A. I. Oparin, *The origin of life*, Nueva York, Dover Publications, 1953 [ed. cast.: *El origen de la vida*, Buenos Aires, Losada, 1960].

108- A. Lazcano, ob. cit.

109- Los polímeros son moléculas de gran tamaño formadas por unidades más pequeñas, llamadas *monómeros*.

110- A. Losch (ed.), *What is life? On Earth and beyond*, Cambridge, Cambridge University Press, 2017.

111- Cit. en S. Tirard, “J. B. S. Haldane and the origin of life”, *Journal of Genetics*, 96 (5):735-739, noviembre de 2017.

112- S. L. Miller, “Production of amino acids under possible primitive Earth conditions”, *Science*, 117(3046), mayo de 1953.

113- Antes o después, los científicos que investigan este tema se plantean la necesidad de definir qué es la vida. Una respuesta posible es la que dan los biólogos chilenos Humberto Maturana y Rafael Varela en *De máquinas y seres vivos*, Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 1973. Ellos plantean que los organismos vivos son sistemas “autopoiéticos” moleculares; es decir, que presentan una red de procesos u operaciones (que los definen como tales y los hacen distinguibles de los demás), que pueden crear o destruir elementos del mismo como respuesta a perturbaciones del medio. Aunque cambie estructuralmente, dicha red permanece invariable durante toda su existencia. Incluso en desequilibrio, es capaz de conservar una consistencia estructural y absorber en forma permanente energía de su medio. Estos sistemas también tienen la capacidad de conservar la unión de sus partes e interactuar con ellas. Además, son autónomos, se autorregulan continuamente, están abiertos a su medio –porque intercambian materia y energía–, pero, a la vez, se mantienen cerrados para distinguirse de su entorno.

114- J. Maddox, ob. cit.

115- D. S. McKay, E. K. Gibson Jr. y otros, “Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001”, *Science*, 273(5277): 924-930, agosto de 1996.

- 116- B. K. D. Pearce, R. E. Pudritz y otros, "Origin of the RNA world: the fate of nucleobases in warm little ponds", *PNAS*, 114(43): 11327-11332, octubre de 2017.
- 117- A. Kornblihtt, "La duración de los días", *Otra Parte*, 2015.
- 118- C. Sagan, *Cosmos*, Barcelona, Planeta, 1982.
- 119- C. Dreifus, "Las chimeneas submarinas son jardines de criaturas exóticas" (entrevista a Cindy Lee van Dover), *El País*, 21-11-2007.
- 120- M. J. van Kranendonk, D. W. Deamer y T. Djokic, "Fuentes de vida", *Investigación y Ciencia*, nº 493, octubre de 2017.
- 121- *Ibíd.*
- 122- *Ibíd.*
- 123- R. Wurgaft, "María Eugenia Farías, una científica de alto riesgo", *El Mundo.es*, 2-06-2010.
- 124- Cit. en N. Rascovan, J. Maldonado y otros, "Metagenomic study of red biofilms from Diamante Lake reveals ancient arsenic bioenergetics in haloarchaea", *The ISME Journal. Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, nº 10, pp. 299-309.
- 125- J. Monod, *El azar y la necesidad*, Barcelona, Tusquets, 1981.

CAPÍTULO 6

¿CUÁL ES EL LÍMITE DE LA VIDA HUMANA?

A los 122 años, Jeanne Calment pudo ufanarse de haber vivido más que ningún otro ser humano en la Tierra. De Matusalén se dice que llegó a los 969 años; sin embargo, las largas vidas atribuidas a los patriarcas que figuran en el quinto capítulo del Libro del Génesis pueden provenir de haber confundido los años con meses lunares: 969 meses lunares equivalen a poco más de 78 años, algo que no suena tan inverosímil. (126) Pero Calment sí tuvo la existencia más larga que se haya documentado. A los 85 empezó a practicar esgrima. A los 100 todavía andaba en bicicleta, si bien eligió salir a pie a dar una vuelta por su ciudad natal, Arlès, en Francia, a saludar y agradecer a la gente que le deseaba feliz cumpleaños. (127)

María Juana Martínez, una anciana de Vista Alegre, que vivía en Bernardo de Yrigoyen, una localidad misionera cercana a la frontera con Brasil, a 1300 kilómetros de Buenos Aires, llegó a los 117 años y se convirtió en la persona más longeva de la Argentina. Hija de un soldado brasileño, de chica su dieta se basó en la ingesta de peces, frutos del monte, pecaríes y carpinchos que ella misma cazaba. Trabajó como partera, tuvo seis hijos, cincuenta nietos y noventa y cinco bisnietos. Sus descendientes contaron que en los meses previos a su muerte no tenía colesterol alto, diabetes ni hipertensión, y que nunca había tomado remedios. Su plato favorito era la panceta ahumada, fumaba cigarros de hoja y tomaba cachaza, la caña brasileña. Jamás hizo deportes. (128) En 2016, Virginia Moyano había llegado a los 111.

Semejantes edades representan un drástico cambio con lo que ocurrió durante miles de años, a lo largo de los cuales la esperanza de vida (129) de los seres humanos rondó los 30 años. Consideremos la Edad Media, por ejemplo. Aunque la imaginamos como un universo de viejos, por las pinturas que retratan la época, en realidad fue el imperio de los jóvenes.

Los papas y emperadores llegaban al poder casi adolescentes. Muchos de los más ilustres representantes de ese mundo apenas cumplían los 50: santo

Tomás de Aquino murió a los 49, san Francisco de Asís llegó a los 44 y Ricardo Corazón de León falleció a los 42. Y ni hablar de las mujeres, que morían al dar a luz apenas adolescentes o quemadas en la hoguera por brujas, como Juana de Arco, asesinada a los 19.

El mundo medieval estaba gobernado por “mancebos”: San Luis, rey de Francia, heredó el trono a los 12; Fernando de Castilla fue rey a los 16; Carlos V de Francia, a los 17, y a Eduardo III de Inglaterra, que murió a los 65, lo consideraban “tan viejo como Matusalén”. Juan XI fue elegido papa a los 19 y Juan XII, investido a los 20, coronó en el 955 al emperador Otón I, de 27. De los monarcas medievales de Castilla y Aragón, nueve reyes no llegaron a cumplir los 50, cuatro no llegaron a los 40 y dos a los 30, mientras que cinco de los nueve sucedieron a su padre antes de los 20 años y dos... ¡antes de los 10! Cuatro años antes del célebre año 1000 se realizó en Roma la coronación de Otón III por el papa Gregorio V: este último tenía 25 y el emperador, 16. En esos tiempos, la juventud se extendía hasta los 49 y desde los 71 en adelante se ingresaba en la “senectud”; luego, se desembocaba nada menos que en la “eternidad”. (130)

Mucho más cerca en el tiempo, las probabilidades de morir antes de alcanzar el medio siglo eran abrumadoras. En una visualización animada, (131) Hans Rosling, el médico sueco que integraba el Instituto Karolinska y creó la Fundación Gapminder, desde la cual promovía el uso adecuado de los datos para analizar problemas de desarrollo, muestra cómo alrededor de 1810 la expectativa de vida era de menos de 40 años para la población de la mayoría de los países.

Algo más de dos siglos después, en 1948, Suecia se encontraba en la cima del *ranking* con una esperanza de vida de más de 70 años, pero el resto de los países la seguían de lejos. En los años setenta, la esperanza de vida creció en todo el mundo, y hoy son muchos los países que superan los 75 años y se acercan a los 80. Aunque las disparidades todavía son notorias, casi no hay países por debajo de la línea de los 50, y existen regiones o ciudades que están rozando los 90.

El 5 de marzo de 2018 había en España doscientas once mujeres y treinta y seis hombres de más de 105 años. Al realizarse el censo de 2010, en la Argentina vivían 3487 personas de 100 años o más: setecientos ochenta y cuatro hombres y dos mil setecientos tres mujeres. La intuición –y las estadísticas– nos dicen que estamos viviendo más que nunca antes. El Gerontology Research Group (132) calcula que hay cuarenta

“supercentenarios” en el mundo, es decir, personas que superan los 110 años (la mayoría, en Italia y Japón). El poeta chileno Nicanor Parra murió a los 103. El filósofo argentino radicado en Canadá, Mario Bunge, que durante una de sus visitas a Buenos Aires me dejó boquiabierto por su memoria enciclopédica y no hace mucho publicó una voluminosa autobiografía de cuatrocientas páginas, (133) cumplirá en 2019 100 años. Mi madre, nacida en Norderney, Alemania, 1912, alcanzó en Buenos Aires los 102.

En 2009, científicos del Instituto Max Planck de Investigación Demográfica de Rostock, Alemania, y del Centro Danés del Envejecimiento estudiaron el desarrollo demográfico de treinta países ricos y calcularon que la mayoría de los niños nacidos allí a partir de 2000 llegarían al siglo de vida. Solo en el siglo XX, la esperanza de vida en esos países aumentó tres décadas. (134)

Todo indica que las mejoras en salud, la investigación y las nuevas tecnologías médicas y biomédicas están agregando aceleradamente años a nuestras vidas. Pero ¿esto quiere decir que la esperanza de vida seguirá aumentando indefinidamente? ¿O hay un programa maestro escondido en la intimidad de nuestras células que evita que sobrepasemos cierto límite? ¿Venimos los humanos con un sistema de obsolescencia programada, una bomba de tiempo genética o un botón de *off*?

Al parecer, las respuestas a esta pregunta están divididas. La mayoría de las especies dan la impresión de tener asignado un lapso de vida máximo. Por ejemplo, los ratones tienden a vivir unos mil días, los perros unos cinco mil y los humanos unos veintinueve mil. Aunque algunos estudios muestran que este límite podría flexibilizarse gracias a intervenciones farmacológicas y genéticas, un análisis estadístico sugiere que, al menos en las condiciones actuales, ese no sería el caso para nuestra especie.

De hecho, hay quienes opinan que el límite máximo de la vida humana ya se alcanzó: es la edad de Jeanne Calment. Desde su muerte, en 1997, nadie batió esa marca. Como sucede con algunos récords olímpicos, que parecen estar acercándose a los límites de la biología humana, es posible que en términos de longevidad no se pueda ir mucho más allá. Esa es la hipótesis que plantea un equipo de investigadores de la Escuela de Medicina Albert Einstein de Nueva York. (135) Según explican, aunque la esperanza de vida de los seres humanos aumentó enormemente desde el siglo XIX, al analizar datos demográficos mundiales se ve que las mejoras en la supervivencia tienden a disminuir después de los 100 años, y que la edad a la que murió la persona más vieja del mundo no aumenta desde la década de 1990. En muchos de los países que

tienen datos confiables, la mayor mejora en la supervivencia en los grupos más longevos alcanzó su punto máximo alrededor de 1980 y no cambió desde entonces. Esto sugiere que nuestra vida máxima está sujeta a restricciones naturales. La muerte ahora se agrupa en personas de entre 65 y 95 años. La pregunta crucial es cuánto más tiempo de supervivencia se puede obtener a través de los avances médicos.

Analizando miles de datos de todo el mundo del Human Mortality Data Base, se verifica, por ejemplo, que la edad máxima de muerte en Suecia creció desde los 101, en la década de 1960, hasta los 108, en la de 1990, pero, tanto allí como en otros países, ese máximo se estancó desde la muerte de Jeanne Calment.

Ahora, los modelos computacionales calculan que la probabilidad de un supercentenario de llegar a cumplir 125 años es de 1 en 10.000, lo cual hace improbable que el récord de la francesa sea superado.

Al parecer, esto no se debe a que, como se creía, ese límite está codificado en un sistema impreso en nuestras células y fruto de la evolución que nos hace morir a partir de cierta edad, sino a que muchos de los sistemas que evolucionaron para protegernos de amenazas externas, de daños provocados por el estrés y de fallas en procesos moleculares a largo plazo producen los problemas que terminan matándonos. Jay Olshansky, investigador de la Universidad de Illinois, en Chicago, plantea: “Lo que parece ser un límite natural es un efecto secundario indeseado de los programas genéticos fijados para actividades del inicio de la vida”. (136) A juicio de este investigador, aunque en modelos animales funcionaron medidas como reducir el consumo de calorías para prolongar la vida en un 30%, esto no es lo que ocurre con los seres humanos. Tampoco la estrategia de utilizar combinaciones de fármacos. El problema es que los sistemas que nos permiten sobrevivir no son uno, ni diez, sino miles o decenas de miles. Cuando empiezan a fallar, el organismo se deteriora y sería muy difícil crear un tratamiento que los reparase a todos, ya que se necesitarían miles de fármacos para mantenerlos en funcionamiento.

No todos están de acuerdo con esta postura. Un artículo de Linda Geddes, publicado también en *Nature*, (137) releva la opinión de investigadores que no comparten estas conclusiones. Uno de ellos es James Vaupel, director fundador del mencionado Instituto Max Planck de Investigación Demográfica de Rostock, Alemania. Vaupel sostiene que, si bien este estancamiento en la esperanza de vida vale para algunos países, hay otros en los que todavía no se registra, como Japón (que tiene la más alta del mundo: 83,7 años para los

nacidos en 2015), o Francia e Italia, con grandes poblaciones y expectativas de vida altas.

Otro dato alentador es el éxito logrados en el laboratorio con gusanos, ratones y moscas, cuyas vidas fueron drásticamente prolongadas suprimiendo ciertos genes o sometiénolos a dietas restringidas en calorías. También se consiguió rejuvenecer células humanas modificándolas para que produzcan una enzima, la telomerasa, que extiende las hebras proteicas que protegen los extremos de los cromosomas que se asocian con el envejecimiento y la enfermedad: los telómeros. Estos son segmentos de ADN que cubren los extremos de los cromosomas y se acortan cada vez que las células se dividen. El ritmo de desgaste permitiría predecir la velocidad del proceso de envejecimiento. Precisamente, una de las hipótesis que intenta explicar el envejecimiento (y su desenlace, la muerte) plantea que ambos ocurren porque el ADN de nuestras células se deteriora de manera progresiva y esto las vuelve irreversiblemente disfuncionales. Aunque todavía no se conocen las respuestas detalladas, hay pistas que señalan que los telómeros son los principales culpables. Una de las que promueven esta visión es Elizabeth Blackburn, ganadora del Premio Nobel de Medicina o Fisiología en 2009. Para esta científica, a medida que envejecemos, los telómeros de todo el cuerpo se acortan y este hecho sería la causa de la mayoría de las enfermedades de la senectud.

En 1961, el biólogo Leonard Hayflick descubrió que las células humanas normales se dividen un número finito de veces antes de morir. Las que Hayflick estudiaba en detalle en su laboratorio, donde se extendían en una capa delgada y transparente dentro de cápsulas de Petri, al principio se reproducían con rapidez. El científico llamó a esa fase juvenil de división celular *crecimiento exuberante*. Pero después de un tiempo, las células detenían su marcha, como si se hubieran cansado de reproducirse. Las más longevas alcanzaron alrededor de cincuenta divisiones y con el tiempo llegaron a una fase, que este investigador denominó *senescencia*. Continuaban vivas, pero dejaban de dividirse. A esto se llamó “límite de Hayflick” y el interruptor que apaga la reproducción celular, según esta hipótesis, son los telómeros cortos. (138)

Estas células “cansadas” se confunden y mandan señales equivocadas. Cuando hay muchas en los tejidos, estos empiezan a mostrar los signos de lo que llamamos *vejez*: las arterias se endurecen, el cerebro pierde parte de su masa y, con el tiempo, desembocan en lo que se conoce como *muerte*

programada. Sin embargo, distintos investigadores confían en que ese proceso pueda llegar a revertirse. Blackburn y Epel hacen una afirmación audaz: “Los extremos de nuestros cromosomas se pueden alargar y, como resultado, el envejecimiento es un proceso dinámico que se puede acelerar o ralentizar y, en algunos aspectos, incluso revertir [...]. La manera en que vives puede decirles a tus telómeros que aceleren el proceso de envejecimiento celular. Pero también puede hacer lo contrario. La comida que ingieres, tu respuesta a los retos emocionales, la cantidad de ejercicio que realizas, si estuviste expuesto a estrés durante tu infancia, incluso los niveles de confianza y seguridad de tu vecindario son todos factores que parecen influir en tus telómeros. [...] Los telómeros explican cómo se nos acaba la habilidad de reponer el tejido. Hay otras formas en que las células se vuelven disfuncionales o mueren de manera prematura, y diferentes factores que contribuyen al envejecimiento humano. Pero el desgaste de los telómeros es un colaborador claro y prematuro de ese proceso, y (lo más emocionante) es posible disminuir o incluso revertir ese desgaste”. (139)

Para las científicas, las técnicas mente-cuerpo, incluida la meditación, reducen el estrés e incrementan la telomerasa, la enzima que rellena los telómeros. También son beneficiosos los alimentos frescos, una vida social activa y una convivencia familiar armoniosa. Vale destacar que, aunque nadie duda de que todos estos factores tienen un efecto benéfico en nuestra salud y calidad de vida, suena aventurado proponer que sean causantes directos de su prolongación.

Pero Blackburn y Epel no son las únicas que piensan que ciertas intervenciones científicas permitirán extender la vida decenas o incluso cientos de años. Como imaginó Mary Shelley en *Frankenstein*, revivir a los muertos fue el objetivo del Instituto Soviético de Fisiología y Terapia Experimental dirigido por Sergei Bryukhonenko. Incluso hay un espeluznante video de 1940, *Experiments in the revival of organisms*, (140) que supuestamente demostraba la reanimación de órganos e incluso de cabezas de perros decapitados.

Aubrey de Grey, gerontólogo y director científico de la Fundación de Investigaciones SENS, que tiene sus laboratorios en Silicon Valley, California, que probablemente sea el principal exponente de la corriente que confía en que los avances médicos permitirán a los seres humanos (que puedan pagarlo) vivir mucho más, lleva invertidos millones de dólares en investigaciones que persiguen ese propósito y cree que la medicina está cerca de resolver el

problema: “Ciertamente no habrá límite a cuánto podremos vivir”, afirma.
(141)

Él y otros gerontólogos consideran que envejecer es una enfermedad y que podemos evitarla reemplazando o reparando nuestras células a intervalos regulares. En términos prácticos, esto podría significar que cada pocos años uno visitaría una clínica de rejuvenecimiento, donde los médicos no solo quitarían las células no saludables sino que también inducirían a las sanas a regenerarse de manera más efectiva y eliminarían los productos de desecho acumulados. Como en la trama de *El curioso caso de Benjamin Button*, , estos tratamientos harían retroceder el reloj del cuerpo y lo mantendrían fisiológicamente más joven que su edad real. Claro que, si esto fuera posible, cabe preguntarse qué pasaría con la psiquis de un cuerpo que no envejece.

EL PROBLEMA ES QUE LOS SISTEMAS QUE NOS PERMITEN SOBREVIVIR NO SON UNO, NI DIEZ, SINO MILES O DECENAS DE MILES. CUANDO EMPIEZAN A FALLAR, EL ORGANISMO SE DETERIORA Y SERÍA MUY DIFÍCIL CREAR UN TRATAMIENTO QUE LOS REPARASE A TODOS.

El suyo es solo uno de varios programas lanzados por multimillonarios que persiguen esta meta. En 2013, Google creó California Life Company (Calico), cuya misión es “permitir a las personas vivir vidas más largas y saludables”. En 2016, Mark Zuckerberg anticipó que será posible “curar, prevenir o controlar todas las enfermedades” antes de fin de siglo. Es más: el proyecto Terasem LifeNaut afirma que puede ofrecer una longevidad extrema hoy mismo. Todo lo que se necesita es crear una cuenta en LifeNaut (www.terasemmovementfoundation.com/lifenaut) y subir tanta información sobre uno mismo como sea posible. De ese modo, se crea una versión digital de las personas, un *mindfile*, que en el futuro se podrá utilizar para reconstruir al interesado.

Algo similar desvela a Dmitry Itskov, un ruso que amasó fortunas en Internet fundando un imperio de noticias. A los 32 años, diseñó un plan para alcanzar la inmortalidad que está dividido en cuatro etapas: comienza con el desarrollo de androides controlados por la mente y culmina en un modelo

informático del cerebro y la conciencia de una persona, que a su vez podría cargarse (o subirse) en una máquina para la posteridad. El proyecto, denominado *inmortalidad cibernética*, recibió el apoyo de personalidades como el Dalai Lama y el conocido Ray Kurzweil, al que llaman *apóstol del transhumanismo*, que es quien popularizó el concepto de *singularidad* para describir el momento en el que las máquinas desarrollarán una conciencia.

Pero, más allá de estas visiones futuristas, como la meta parece todavía muy elusiva en especies complejas, la ciencia está explorando su factibilidad en organismos más simples. El profesor Gordon Lithgow, del Buck Institute for Research on Aging, en California, que está tratando de echar luz sobre los mecanismos del envejecimiento, dirige un laboratorio que estudia cómo alargar la vida de un gusano microscópico, el *Caenorhabditis elegans*, y aplica esos hallazgos en cultivos de células humanas. Asegura que hay un grupo de factores que permiten extender la vida de ese gusano y que ya pudieron multiplicar por cinco su longevidad. Asimismo, descubrió que ciertas proteínas que pueden prolongar la vida también están involucradas en la prevención de enfermedades. Entre ellas, los antioxidantes, que, sin embargo, por ahora siguen siendo ampliamente discutidos.

Lo que inspira a los investigadores que persiguen la prolongación de la vida son ejemplos como el de las ratas topo desnudas, (142) que raramente contraen cáncer, son resistentes a algunos tipos de dolor y pueden sobrevivir hasta dieciocho minutos sin oxígeno. Además, al parecer no envejecen y superan con creces la esperanza de vida de un roedor de su tamaño. Los ratones en cautiverio viven a lo sumo cuatro años, por lo que no se esperaría que las ratas topo desnudas vivieran más allá de los seis. Sin embargo, algunas llegan a los treinta. Un dato asombroso es que incluso a esa edad las hembras reproductoras se mantienen fértiles.

En 1825, un actuario autodidacta británico, Benjamin Gompertz, presentó en la Royal Society una serie de tablas de mortalidad que establecen que el riesgo de morir aumenta exponencialmente con la edad; en los humanos, por ejemplo, después de los 30 años se duplica cada ocho años. La ecuación matemática que describe el envejecimiento, llamada *ley de Gompertz*, fue utilizada por algunas compañías para establecer el valor del seguro de vida. Pero la bióloga Rochelle Buffenstein, de la Universidad de Texas, descubrió algo singular luego de estudiar durante más de 30 años las ratas topo desnudas: registrando sus nacimientos y muertes, vio que estas parecen burlar el cálculo de Gompertz. Después de alcanzar la madurez sexual, a los 6 meses

de edad, cada oportunidad diaria de morir de uno de estos roedores es apenas superior a 1 en 10.000, probabilidad que se mantiene constante a lo largo de toda su vida. Es más: un estudio que analizó las historias de vida de miles de esas ratas, (143) descubrió que su riesgo de muerte no aumenta a medida que crecen, como sucede con el resto de los mamíferos, y que, a edades avanzadas, su tasa de mortalidad sigue siendo más baja que la de cualquier otro mamífero documentado.

La fantasía de alcanzar la inmortalidad parece indisociable del ser humano. Ya en el siglo III a. C., el emperador Qin Shi Huang ingirió mercurio para obtener la vida eterna. Pero, a pesar de este y otros esfuerzos, murió en el 210 a. C. después de haber reinado durante once años. (144) Qin, que pasó a la historia como “el primer emperador”, fue el artífice no solo de la unificación de China en el siglo III a. C., de la estandarización de la escritura de caracteres y de una constelación de doscientos setenta y siete palacios y torres donde se recluía, sino también de esa impresionante obra arquitectónica que fue la Gran Muralla, erigida por más de trescientas mil personas a lo largo de generaciones. De acuerdo con los historiadores, entre sus órdenes más sorprendentes figura la de enviar un barco cargado de jóvenes hacia el Sol Naciente, donde le habían dicho que habitaban “los inmortales”, para buscar la pócima que le permitiría vivir para siempre. No hace mucho una investigación arqueológica descubrió un conjunto de hojas de madera en la provincia central de Hunan con una orden ejecutiva de este emperador para una búsqueda a nivel nacional del elixir de la vida. (145) La historia tiene un final inesperado. En uno de sus viajes, los “magos” del reino le informaron que el barco de jóvenes buscadores del elixir no pudo alcanzar su objetivo porque un gran pez les impedía el paso. El propio emperador decidió entonces embarcarse para avistarlo en persona, pero tampoco logró alcanzar la meta que con tantas ansias perseguía: se enfermó en alta mar y murió en el camino de regreso.

Algo verdaderamente sorprendente es que, mientras los seres humanos nos esforzamos por lograr la inmortalidad, otros organismos vienen equipados con esa cualidad y lo logran sin esfuerzo. En 2014, los científicos revivieron el *Pithovirus sibericum*, un virus preservado durante treinta mil años en el permafrost (la capa de suelo que permanece permanentemente helada) de Siberia, simplemente dejándolo descongelarse.

Una medusa “inmortal”, la *Turritopsis dohrnii*, que habita en el mar Mediterráneo y en las aguas que bañan las costas de Japón, puede recuperar su

forma juvenil. Empieza su vida como una larva minúscula (llamada *plánula*) y luego forma colonias de pólipos que se adhieren al lecho marino.

Eventualmente, las medusas se separan de los pólipos y alcanzan la madurez sexual. Todos los pólipos y las medusas que surgen de una sola plánula son clones genéticamente idénticos. Cuando una *Turritopsis dohrnii* se expone a algún tipo de tensión medioambiental o agresión física, se enferma o envejece, puede revertir su ciclo de vida a través de la transdiferenciación –es decir, convirtiendo un tipo de célula en otra–, volver a la etapa de pólipo y formar una nueva colonia. En teoría, este proceso puede seguir indefinidamente.

Según cuenta la escritora argentina Alicia Steinberg en su delicioso *Músicos y relojeros*, (146) su abuela “conocía el secreto de la vida eterna”. La fórmula consistía en hervir acelgas y comerlas inmediatamente, cuando el jugo de la cocción está chorreando, rociadas con dos limones grandes. Los llamados *crionicistas*, un grupo de personas a los que a veces se considera excéntricos y, otras, demasiado ingenuos u optimistas, piensan que para vivir mil años serán necesarios avances tecnológicos que hoy solo existen en las mentes más afebradas. Por eso proponen congelar a los individuos después de su muerte a la espera de esos logros. Desde hace mucho se sabe que la refrigeración retarda o detiene la actividad de las células, y ayuda a conservar material biológico. Pero para preservar, es decir, para que luego uno pueda revivir eso que se congela, se requieren temperaturas muy bajas que solo pueden alcanzarse en un laboratorio, habitualmente mediante el uso de nitrógeno en estado líquido (a -196°C). (147) Son temperaturas que no existen en la Tierra y para las cuales nuestros tejidos no están adaptados, ya que por debajo de 0°C el agua se congela y forma cristales de hielo que pueden romper las células. Este congelamiento también provoca la destrucción celular al aumentar progresivamente la concentración de las sustancias disueltas en las células.

La idea de la criopreservación, que actualmente se utiliza para conservar óvulos, embriones y espermatozoides, nació un poco por casualidad. En 1949, el científico británico Christopher Polge congeló semen de pavo y, por error, utilizó un tubo que estaba contaminado con glicerina. Tiempo después, cuando descongeló el material, comprobó con sorpresa que gran parte de los espermatozoides seguían vivos. (148)

En 2015, un artículo científico publicado en la revista *Rejuvenation Research* informó que un procedimiento de vitrificación permitió volver a la vida a la totalidad de un grupo de individuos congelados. El estudio se realizó

con *Caenorhabditis elegans*, un gusano de alrededor de 1 milímetro de largo que, por sus características particulares, es muy utilizado para la investigación en diversas áreas de la biología, como el aprendizaje, la memoria o el envejecimiento, entre otras. Ese trabajo incluye experimentos que muestran que, luego de ser descongelados, los gusanitos mantienen la memoria de largo plazo. Según los dos autores de la investigación, Natasha Vita-More y Daniel Barranco, se trata de “la primera evidencia de conservación de la memoria después de la criopreservación”. (149) Ambos científicos pertenecen a la Alcor Life Extension Foundation, una organización –“sin fines de lucro”, dice en su página web– situada en Arizona. Alcor se autodefine como “líder mundial en criónica”; es decir, en la criopreservación de cuerpos enteros después de declarada su muerte legal. En la actualidad, un puñado de compañías dispersas por el mundo ofrece este servicio para quienes guardan la esperanza de que, en algún futuro, exista una tecnología apropiada para resucitarlos.

En 2012, Ben Best, presidente del Cryonics Institute de Detroit, un alto ejecutivo de una institución criónica, llegó a la Argentina para participar del Congreso Internacional de Criobiología. Cuando le pregunté a Best –con formación en farmacología, física, computación y finanzas (aunque aclaró que en ninguna de estas disciplinas obtuvo un doctorado y que la criónica no es una ciencia sino una tecnología)– por qué se dedicaba a esto, simplemente contestó: “Amo la vida y quiero más”. (150)

Definió la criónica como la criopreservación de seres humanos y mascotas para revivirlos en el futuro, para lo cual, durante la preparación del cuerpo, se reemplaza la sangre por sustancias criopreservantes para reducir la formación de cristales de hielo y evitar el daño de los tejidos. Los sujetos que se sometan a este procedimiento deben estar clínicamente muertos pero los seguidores de Best tienen la esperanza de que no lo estén para siempre.

“Alguien cuyo corazón se ha detenido está clínicamente muerto, pero a veces puede ser revivido por reanimación cardiopulmonar (RCP). Hay chicos que estuvieron sumergidos en agua fría hasta una hora y luego fueron revividos sin daño neurológico, aunque estuvieron clínicamente muertos”, afirmó.

Los *pacientes*, como Best los llama, se mantienen congelados a la temperatura del nitrógeno líquido en tanques que son como grandes termos. Todos los días los controlan para asegurarse de que se mantengan bien preservados, ya que Best y sus acólitos creen que podrán reanimarlos dentro de décadas o de un siglo, y que en ese momento los daños en los tejidos

podrán ser revertidos por técnicas de reparación molecular que podrán rejuvenecerlos. Cuando le pregunté si pensaba que era ético prolongar indefinidamente la vida, contestó: “En mi opinión, la vida es buena y la muerte es mala. Soy un convencido de que la tecnología resolverá los problemas de contaminación y puede crear riqueza para todos. El espacio exterior es vasto [y puede proporcionarnos enorme cantidad de] energía y recursos”.

Si la reanimación y el rejuvenecimiento fueran posibles (es decir, si todas las enfermedades pudieran curarse), entonces, la únicas causas de muerte pasarían a ser los accidentes, los suicidios y los asesinatos (si se asume que uno está decidido a vivir para siempre, el suicidio en realidad debería excluirse). De modo que una persona podría vivir más de mil años.

En el mundo hay tres organizaciones que mantienen a alrededor de trescientas personas criopreservadas: el Cryonics Institute (CI, catalogado como “cementerio”), en Detroit; Alcor, en Arizona, y CrioRuss, cerca de Moscú. Alrededor de dos mil personas más ya manifestaron su interés en someterse a ese tratamiento en el momento de morir y firmaron contratos con algunas de estas tres organizaciones. Es interesante que en China el propio gobierno dio luz verde para la práctica criónica. Existe una compañía privada que se encuentra instalando esta tecnología en ese país y que ya criopreservó el primer cuerpo: una mujer que sufría de cáncer. Por el momento, este procedimiento está en etapa de prueba, pero ya existe una lista nutrida de futuros clientes que están dispuestos a pagar por este servicio cuando se encuentre comercialmente disponible. El gobierno chino es el único que hasta ahora dio apoyo expreso a la criónica. (151) Los otros centros están en su mayoría en los Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña, Australia, Alemania y Rusia. Cuando Best nos visitó, en la Argentina había un interesado, otro en Brasil, uno en Chile y dos en México.

Por supuesto, los escenarios que permiten imaginar esta y otras tecnologías, como la “carga mental” de todo el contenido de nuestro cerebro en una copia funcionalmente idéntica, pero en otro sustrato, ofrece material para disquisiciones filosóficas de todo tipo, principalmente las que tienen que ver con las consecuencias éticas que implicaría semejante revolución.

¿Uno es reducible a los procesos y al contenido de su cerebro? ¿Cómo se sentiría la carga real de la mente transferida? ¿Qué pasa si todo el proceso, incluida la propia existencia como ser digital, es tan cualitativamente diferente de la existencia biológica que aterroriza por completo o incluso puede volver catatónico al que se la practica? Si es así, ¿qué sucede si uno no puede

desconectarse o comunicarse con alguien para que lo haga? En este caso, la inmortalidad sería más una maldición que una bendición. Ante semejantes perspectivas, la muerte tal vez no sea tan mala después de todo. (152)

Para Rodolfo Goya, investigador del Conicet en el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de La Plata “Profesor Doctor Rodolfo R. Brenner” (Inibiolp), ciertos modelos del envejecimiento permiten pensar en un rejuvenecimiento in vivo que prevendría las patologías del final de la vida. “La historia del rejuvenecimiento biológico comenzó a principios de los años sesenta, con el descubrimiento de la clonación de animales en ranas por parte de John Gurdon y sus colaboradores –afirma–. La clonación de mamíferos se logró treinta años más tarde, en 1996, con el nacimiento de la oveja *Dolly*. Diez años más tarde, Takahashi y Yamanaka demostraron que la transferencia de solo cuatro genes maestros a fibroblastos adultos [células de piel] de ratón fue capaz de reprogramarlos, llevando las células a una etapa de pluripotencia en la que se comportan como células madre embrionarias capaces de dar nacimiento a cualquier tejido. En diciembre de 2016, se informó por primera vez que las células y los órganos se pueden rejuvenecer in vivo.”

**LA FANTASÍA DE ALCANZAR LA INMORTALIDAD PARECE
INDISOCIABLE DEL SER HUMANO. YA EN EL SIGLO III A.
C., EL EMPERADOR QIN SHI HUANG INGIRIÓ MERCURIO
PARA OBTENER LA VIDA ETERNA. PERO, A PESAR DE
ESTE Y OTROS ESFUERZOS, MURIÓ EN EL 210 A. C.
DESPUÉS DE HABER REINADO DURANTE ONCE AÑOS.**

Según el investigador, el descubrimiento de la clonación de animales y posteriores desarrollos tecnológicos condujeron al logro del rejuvenecimiento mediante la reprogramación celular (que vuelve atrás el reloj de las células hasta un estadio inicial de su desarrollo), lo que a su vez constituye un cambio de paradigma en la gerontología. Una consecuencia importante de estos descubrimientos es la opinión emergente de que en algún lugar del genoma de las células hay un programa viable que puede ponerse en marcha para transformarlas en células madre embrionarias pluripotentes. “Aunque en la actualidad no sabemos prácticamente nada sobre la ubicación de este programa hipotético de rejuvenecimiento, y mucho menos sobre su estructura y

mecanismo de acción, sí sabemos cómo activarlo incluso en células de individuos muy viejos –explica–. Hemos descubierto una poderosa herramienta diseñada por la naturaleza y perfeccionada durante millones de años de evolución, y hemos aprendido cómo usarla para rejuvenecer las células y, hasta cierto punto, a los animales.” Y agrega: “Hemos escuchado frecuentemente que la meta última de la gerontología actual es encontrar terapias que permitan a la gente transitar un envejecimiento exitoso. Siendo gerontólogo siempre me pregunté cómo un proceso cuyo corolario inevitable es la muerte puede ser llamado ‘exitoso’. Es como si un general aspirase al objetivo de alcanzar derrotas exitosas en el campo de batalla. Para mí, el envejecimiento más exitoso es no envejecer o, mejor aún, ser rejuvenecido. Durante mi juventud estaba convencido de que la ciencia podría derrotar el envejecimiento y la muerte, pero creía que resolver este monumental problema tomaría varias décadas o siglos, y que resultaría necesario que nuevas tecnologías, como la nanomedicina, alcanzasen su madurez. Nunca soñé que viviría para ver el rejuvenecimiento biológico. Y, ahora, este milagro científico está ocurriendo frente a mis ojos. El descubrimiento realizado por Yamanaka produjo una explosión de interés inmediata, una revolución en la comunidad científica mundial. Yo fui uno de los científicos que se enamoraron de ese descubrimiento. Poco después, comenzamos a intentar rejuvenecer células de animales y humanos viejos con los genes de Yamanaka. El primer estudio que demostró que es posible lograr el rejuvenecimiento de células humanas fue publicado por un grupo francés en 2011. (153) Este grupo obtuvo células de piel de ancianos centenarios sanos y las cultivó. Cuando las células de individuos viejos sanos son cultivadas, muestran un deterioro en su metabolismo y estructura acorde con la edad del donante. El grupo francés trasplantó los cuatro genes de Yamanaka en aquellas células de piel y luego de pocas semanas se convirtieron en células embrionarias muy jóvenes; en otras palabras, fueron reprogramadas. Cuando estas células embrionarias se expusieron a un conjunto de factores celulares apropiados, estos indujeron a las células a convertirse nuevamente en células de la piel y, casi mágicamente, esas células habían sido rejuvenecidas; es decir, resultaban indistinguibles de células de la piel tomadas de adolescentes. Este logro constituyó un triunfo magnífico de la ciencia, pero rejuvenecer células no es lo mismo que rejuvenecer un organismo completo. Nuestro objetivo final todavía parecía distante en el tiempo. Sin embargo, en diciembre de 2016, un grupo estadounidense liderado por Juan Carlos Izpisúa Belmonte, del Instituto Salk,

anunció que había logrado el rejuvenecimiento de ratones viejos. (154) Los animales transportaban en su material genético la versión humana de los cuatro genes de Yamanaka, que habían sido colocados en un sistema genético capaz de regular su actividad en respuesta a un antibiótico. De este modo, cuando el antibiótico se agregaba al agua de bebida de los ratones, los genes de Yamanaka se activaban y, cuando el antibiótico se removía del agua, se silenciaban. De esta manera, Belmonte y su grupo fueron capaces de borrar muchos de los signos de envejecimiento en las células y tejidos de ratones viejos. Además, los animales tratados vivieron un 30% más que los controles no tratados. Esto abrió un nuevo horizonte en gerontología. Reveló que lo que veíamos como un muro infranqueable era en realidad una puerta oculta hacia el rejuvenecimiento humano. Por fin, estamos comenzando a emprender la conquista del rejuvenecimiento a través de la tecnología, el rasgo distintivo de nuestra especie [...]. (155) Es razonable esperar que dentro de las próximas dos décadas, o antes, se desarrollen los enfoques clínicos para detener el envejecimiento e incluso rejuvenecer a humanos envejecidos”. (156)

Una pregunta que surge de inmediato es qué precio tendrán estos tratamientos. En un diálogo con el premio Nobel Daniel Kahneman, historiador israelí y autor de *best sellers* mundiales, Yuval Noah Harari reflexiona precisamente sobre cómo está cambiando nuestra sociedad por el avance de la tecnología médica. “A lo largo de la historia, el envejecimiento y la muerte siempre se trataron como problemas metafísicos –dice Harari–, como algo decretado por los dioses, algo esencial que define a los humanos, que define la condición y la realidad humana. Hace apenas unos años, eran muy pocos los médicos o científicos que afirmaban rotundamente que estaban intentando trascender el envejecimiento y la muerte. En cambio, decían que estaban intentando vencer tal o cual enfermedad en particular, ya fuese la tuberculosis, el cáncer o el Alzheimer. Vencer la enfermedad en general y la muerte era algo absurdo, de ciencia ficción. Pero la nueva actitud consiste en tratar el envejecimiento y la muerte como problemas técnicos, básicamente similares a cualquier otra enfermedad. Como el cáncer, el Alzheimer o la tuberculosis. Puede que aún no conozcamos todos los mecanismos y todos los remedios, pero en principio la gente siempre muere por motivos técnicos, no metafísicos. En la Edad Media, se tenía una imagen de cómo moría una persona según la cual el Ángel de la Muerte aparecía de pronto, tocaba el hombro de la persona y le decía: ‘Ha llegado tu hora’. Y la persona respondía: ‘No, no, no. Dame algo más de tiempo’. A lo que la Muerte contestaba: ‘No,

debes venir conmigo'. Y eso era todo, así se moría. Hoy día no pensamos así. La gente no se muere porque aparezca el Ángel de la Muerte, sino porque su corazón deja de bombear, o porque una arteria se ha atascado, o porque las células cancerosas se extienden por el hígado o algún otro órgano. Todos estos son problemas técnicos y, en esencia, debería tener una solución técnica. Hasta donde yo sé, estamos viviendo una revolución en la medicina. Durante el siglo XX, esta se concentró en sanar a los enfermos, y ahora se centra cada vez más en optimizar la salud de las personas sanas, que es un enfoque completamente distinto. Y lo es tanto en un sentido social como político porque, mientras que la curación de los enfermos es un proyecto igualitario (que da por supuesto que existe un estándar de salud y que, si alguien cae por debajo de dicho estándar, se le ayuda a recuperar el nivel adecuado), el actual es un proyecto elitista. No hay ningún estándar que sea de aplicación a todo el mundo". (157)

A la vista de los acelerados avances que se producen cada día en laboratorios del planeta, tal vez en un futuro, como afirma Harari, la muerte sea opcional, al menos para quienes puedan pagar por ser inmortales.

126- I. Asimov, *De los números y su historia*, Buenos Aires, El Ateneo, 1981, p. 163.

127- Véanse E. Blackburn y E. Epel, *La solución de los telómeros*, México, Aguilar, 2017, p. XVI; E. Blackburn, E. Epel y J. Lin, "Human telomere biology: a contributory and interactive factor in aging, disease risks and protection", *Science*, 350(6265): 1193-1198, diciembre de 2015.

128- M. Loewy, *Inmortalidad: promesas, fantasías y realidades de la eterna juventud*, Buenos Aires, Autoría Editorial, 2017.

129- La esperanza de vida es una estimación estadística poblacional de cuánto se espera que los individuos vivan. La esperanza de vida máxima es la edad que alcanza el individuo más longevo de una especie.

130- F. de Moxó y Montoliu, "Un mundo de jóvenes", *La Aventura de la Historia*, nº 13, 1999, pp. 48-54.

131- *Hans Rosling's 200 countries, 200 years, 4 minutes. The joy of Stats*, BBC Four, disponible en: <www.youtube.com/watch?v=jbkSRLYSojo>.

132- Gerontology Research Group, "World supercentenarian rankings list", disponible en: <www.grg.org/SC/WorldSCRankingsList.html>.

133- M. Bunge, *Memorias: entre dos mundos*, Barcelona, Gedisa, 2014.

134- K. Christensen, G. Doblhammer y otros, "Ageing populations: the challenges ahead",

The Lancet, 374(9696): 1196-1208, octubre de 2009.

135- X. Dong, B. Miholland y J. Vijg, “Evidence for a limit to human lifespan”, *Nature*, 538(7624): 257-259, octubre de 2016.

136- J. Olshansky, “Ageing: measuring our narrow strip of life”, *Nature*, 538(7624): 175-176, octubre de 2016.

137- L. Geddes, “Human age limit claim sparks debate”, *Nature*, 5-10-2016.

138- E. Blackburn y E. Epel, ob. cit.

139- *Ibíd.*

140- El video está disponible en <www.youtube.com/watch?v=aplco5ZZHYE>.

141- Cit. en F. Walsh, “Superagers: How long can humans live?”, BBC News at Ten, 20-12-2017.

142- K. Kupferschmidt, “Forever young? Naked mole rats may know the secret”, *Science*, 359(6375): 506-507, febrero de 2018.

143- J. G. Ruby, M. Smith y R. Buffenstein, “Naked mole-rat mortality rates defy gompertzian laws by not increasing with age”, *Elife*, 24-01-2018.

144- J. A. Martos, “El emperador que quiso ser inmortal”, *El País*, 5-03-2006.

145- “Una orden del emperador chino: encontrar la inmortalidad”, *AFP*, 25-12-2017.

146- A. Steimberg, *Músicos y relojeros*, Buenos Aires, CEAL, 1971.

147- G. Stekolschik, “La fantasía de Walt Disney”, *Exactamente*, a. 24, nº 63, noviembre de 2017.

148- *Ibíd.*

149- N. Vita-More y D. Barranco, “Persistence of long-term memory in vitrified and revived caenorhabditis elegans”, *Rejuvenation Research*, octubre de 2015.

150- N. Bär, “En el futuro podremos vivir mil años”, *La Nación*, 1-06-2012.

151- A. Drake, *China whole body cryopreservation*, disponible en: <vimeo.com/243966672>.

152- F. Minerva, “What are the ethical consequences of immortality technology?”, *Aeon*, 8-08-2017.

153- L. Lapasset, O. Milharet y otros, “Rejuvenating senescent and centenarian human cells by reprogramming through the pluripotent state”, *Genes Dev.*, 25(1): 2248-2253, noviembre de 2011.

154- A. Ocampo, P. Reddy y otros, “In vivo amelioration of age-associated hallmarks by partial reprogramming”, *Cell*, 167(7): 1719-1733, diciembre de 2016.

155- R. Kurzweil, *La era de las máquinas espirituales*, Barcelona, Planeta, 1999.

156- R. G. Goya, M. Lehmann y otros, *Rejuvenation by cell reprogramming: a new horizon in gerontology*, junio de 2018; disponible en: <[10.13140/RG.2.2.35163.26406](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35163.26406)>

(preprint).

157- “La muerte es opcional. Una conversación entre Daniel Kahneman y Yuval Noah Harari”, Edge.org, 17-03-2015.

CAPÍTULO 7

¿CÓMO SURGE LA CONCIENCIA?

Son las 7 de la mañana de un gélido martes de julio. El Sol empieza a elevarse sobre el horizonte. Me siento frente a la computadora. Una luz tibia entra por la ventana. Varias voces comentan las noticias. Al escribir, siento la suave presión de las yemas de los dedos sobre las teclas. Repaso mentalmente los compromisos del día. Pero, un momento... ¿Quién es ese *yo* que repite en silencio las palabras de este texto, escucha los sonidos de la calle y la radio, se detiene casualmente a observar el elefante de madera que sostiene los libros sobre el escritorio, se adelanta a mis ocupaciones de las próximas horas?

Qué es y cómo surge la conciencia, ese *aleph* en el que confluyen todos los puntos de nuestro ser, es una pregunta que viene fascinando a legiones de filósofos y científicos desde tiempos inmemoriales. Hipócrates la ubicaba en los ventrículos del cerebro. Demócrito y Aristóteles la imaginaban difundida en todo el cuerpo. Epicuro la situaba en el estómago. Los estoicos en el corazón y sus alrededores; Empédocles, en la sangre, Galeno pensaba que cada parte del cuerpo debía tener su propia alma; Estratón creía que estaba ubicada entre las cejas. (158) Nabokov afirmaba que la conciencia es el mayor de todos los misterios. Otros descartaron la posibilidad de diseccionarla porque es imposible pretender estudiar un objeto (el cerebro) usándolo al mismo tiempo como instrumento para esa disección. Hoy, el truco mágico que nos juega un órgano gelatinoso de un kilo y medio de peso es uno de los temas más “calientes” de la ciencia. Biólogos, psicólogos, físicos, matemáticos, especialistas en ciencias de la computación y neurocientíficos discuten acaloradamente para intentar explicar este misterio insondable que hasta hace no mucho se consideraba inabordable. “En mis épocas de doctorado no se la podía nombrar. Nos referíamos a ella como *the C word*”, (159) bromea Mariano Sigman, neurocientífico argentino y uno de los directores del Human Brain Project, al recibir mi llamado a Madrid, donde reside. A tal punto parecía indomable este Everest de los neurocientíficos, territorio privado de los filósofos durante siglos, que George Miller, uno de

los fundadores de la ciencia cognitiva, llegó a pedir una moratoria de una década o dos en su investigación para que se pudieran desarrollar términos más precisos para describirlo.

Hasta hace algunos años, prevalecía la antigua idea de que la mente pertenecía a un reino separado, distinto del cuerpo. “Aunque es parte de mi naturaleza –escribió San Agustín en el siglo V–, no puedo entender por completo todo lo que soy. Esto significa, entonces, que la mente es demasiado estrecha para contenerse enteramente a sí misma. Pero ¿dónde está esa parte de sí que ella misma no contiene? ¿Está en algún lugar exterior a ella? ¿Cómo puede ser parte de ella si ella no la contiene?” (160)

René Descartes, filósofo francés del siglo XVII, puso en blanco sobre negro lo que en la actualidad se conoce como “dualismo”, al plantear la tesis de que la mente consciente está hecha de una sustancia inmaterial que escapa a las leyes normales de la física. En abril de 1648, su joven admirador Frans Burman, que había leído exhaustivamente su obra y había resaltado y hecho comentarios en más de setenta párrafos, lo visitó en su finca de la costa holandesa, donde residió entre 1618 y 1619, con el objetivo de discutir algunos puntos cardinales. Por ejemplo, ¿cómo, le preguntó, pueden el alma y el cuerpo afectarse entre sí, dada su diferencia fundamental? Descartes admitió que era un tema espinoso, pero destacó que una evidencia de que eso ocurría era la emoción. Sin embargo, el mecanismo que lo hacía posible era elusivo y sugirió que sería mejor dejar ese misterio a los teólogos. (161)

En sus libros, Descartes presentó una perspectiva mecánica del cuerpo y lo concibió como una suerte de autómata complejo. Imaginó mentes y cuerpos como una colección de órganos musicales comparables a los instalados en las iglesias, que impulsaban fluidos especiales, llamados *espíritus animales*, hacia una amplia variedad de tubos cuyas combinaciones generaban todos los ritmos y la música de nuestras acciones. Esas funciones emanaban naturalmente de la máquina, igual que los movimientos de un reloj o de otro autómata surgían de la disposición de sus ruedas y contrapesos. (162) Esa visión mecanicista no logró formular una explicación consistente de las habilidades de la mente humana, que parecían estar siempre más allá de la máquina corpórea. En particular, no podía explicarse cómo el cerebro tenía un repertorio infinito de pensamientos.

La idea de que existe una diferencia intrínseca entre mente y cuerpo es tan intuitiva (al fin y al cabo, ¿cómo podríamos explicar de qué está hecha una emoción?) que costó mucho desembarazarse de ella. Sin embargo, en las

últimas décadas, encontrar el correlato neuronal de esa inasible continuidad de nuestro *yo*, a pesar de la diversidad de experiencias que nos definen, dejó de ser un enigma filosófico y pasó a concebirse como un fenómeno de laboratorio. Hoy es un campo fascinante de investigación, con sus propias sociedades científicas y revistas. Cada año asistimos a la publicación de libros sobre el tema firmados por los nombres más destacados de la ciencia. Personalidades que accedieron a la escena pública, como Daniel Dennett, Antonio Damasio, Douglas Hofstadter y muchos otros no tan conocidos, como Anil Seth, profesor de neurociencia computacional de la Universidad de Sussex y codirector del Centro Sackler para el Estudio de la Conciencia, además de editor en jefe de *Neuroscience of Consciousness*, el órgano de difusión de la Asociación para el Estudio Científico de la Conciencia, publican artículos con teorías provocativas que intentan desentrañar este misterio.

Pero aunque se pueden obtener imágenes cerebrales de admirable precisión, a pesar de que lograron definirse diferentes estados de la conciencia (como la vida vegetativa, la conciencia mínima, el delirio o el estado de coma), o de que se midieron las ondas eléctricas que atraviesan nuestro cerebro cuando soñamos y se describieron distorsiones desconcertantes (como el *hemineglect* o negligencia espacial unilateral, un evento durante el cual los pacientes “pierden la mitad del mundo”: ven la mitad de su plato o un solo lado de la calle, por ejemplo, luego de un ataque cerebral), (163) la pregunta acerca de cómo se relaciona la entidad inmaterial con algo físico sigue sin lograr responderse.

Dante Chialvo, un científico argentino repatriado (164) que vivió e investigó durante muchos años en Estados Unidos y que actualmente es investigador del Conicet y director del Centro para Sistemas Complejos y Ciencias del Cerebro de la Universidad Nacional de San Martín, repasa frente a una mesa del café de Scalabrini Ortiz y Santa Fe, en el barrio porteño de Palermo, el *backstage* de cómo empezó el estudio científico de la conciencia, una historia colorida que deja al descubierto parte del árbol genealógico que contribuye a entender la génesis de muchas ideas científicas.

“En el 87 me voy del país persiguiendo una idea –cuenta–. Me invitan a trabajar en Estados Unidos en lo que fueron los inicios de la teoría de sistemas dinámicos complejos en biología. Me va muy bien, publicamos un montón de cosas originales y luego me traslado al sur de Nueva York a formar parte del Instituto para el Estudio de las Ciencias de la Complejidad de Santa Fe,

fundado, entre otros, por Murray Gell-Mann, (165) una figura relevante como pocas en el campo de la física de partículas y el que bautizó a los quarks a partir de una frase del *Finnegans Wake*, de James Joyce. Aunque no había ningún físico que quisiese o imaginase por esos días hacer biología, y menos neurociencias, fui muy afortunado pues allí me rodeé de gente muy talentosa. Nuestras discusiones terminaron de convencerme de que muchos de los problemas complejos, si bien pertenecían a la biología, ya tenían soluciones en la física. En otras palabras, en mi opinión la biología debía ser para los físicos el próximo gran desafío. Por ejemplo, allí conocí a Francisco Varela, (166) con el que compartimos intereses, amistad y prolongadas charlas. Otro fue Per Bak, que fue la influencia intelectual más grande que he tenido. El lema de Per se concentra en el inicio de su libro de 1977 (167), donde dice: ‘¿Cómo puede ser que el universo haya comenzado con pocos tipos de partículas elementales en el *Big Bang* y que termine siendo vida, historia, economía, literatura? Esta pregunta está clamando a gritos por ser respondida, pero ni siquiera se la plantea. ¿Por qué el *Big Bang* no terminó formando un simple gas de partículas o se condensó en un enorme cristal? Es tan común ver fenómenos complejos alrededor nuestro que damos por garantizada su existencia sin buscar una explicación de su origen. En los hechos, hasta recientemente, se dedicó muy poco esfuerzo científico a entender por qué la naturaleza es compleja.’”

Junto con Bak, Chialvo introdujo el concepto de que el cerebro podría funcionar obedeciendo las mismas reglas que la generalidad de los sistemas complejos. (168) Igual que ellos, no se comporta ni como un gas ni como un sólido ni como un líquido, contiene las tres fases al mismo tiempo, lo que ocurre en el borde de esas fases y lo que se denomina *criticalidad*. La naturaleza es el ejemplo paradigmático de esta complejidad o *criticalidad*: en un día cualquiera, al borde del Nahuel Huapi, por ejemplo, podemos comprobar esa mezcla espontánea de orden y desorden contemplando el lago, la nieve en la montaña y las nubes en el cielo. Per Bak y sus colegas incorporaron estas ideas en un modelo matemático gobernado por los mismos principios que una pila de arena construida lentamente, donde el agregado de un solo grano puede tener respuestas muy diversas, lo mismo que sucede cuando perturbamos un gas, un líquido o un cristal. Estos planteos, postulados en uno de los *papers* más citados de la física de las últimas décadas, pasó a conocerse como la *teoría de la criticalidad autoorganizada* y básicamente predice que, dada ciertas premisas, los sistemas, cuando están compuestos de

muchas partes que interactúan, tienden por sí solos a esa zona de comportamiento complejo (y crítico).

Así como la idea del cerebro crítico surge de conceptos universales de sistemas colectivos, una parte importante de la historia del estudio experimental de la conciencia proviene de una generalización. Según rememora Chialvo, esto se remonta a poco después de 1972, cuando Gerald Edelman, de la Universidad de Rockefeller, que ese año ganó el Premio Nobel de Fisiología o Medicina por sus estudios sobre inmunología, decidió cambiar drásticamente de rumbo y dedicarse a estudiar el cerebro. “Él planteaba, entre otras muchas analogías, que se podía pensar que el sistema inmune tiene algo similar a la conciencia, porque desarrolla una especie de *yo*, una identidad, y emerge del individuo. Incluso existen patologías conocidas en las que esa identidad está perturbada (las llamadas *enfermedades autoinmunes*) –explica Chialvo–. Estas ideas impulsaron a Edelman a postular que el cerebro, en interacción con el medioambiente, se autoconstruye seleccionando ‘grupos neuronales’ que ayudan al individuo a comportarse con mejor chance de sobrevivir. Es parecido a lo hace el sistema inmune creando anticuerpos que nos defienden de los antígenos. A ese proceso, lo llamó *darwinismo neural*, como si un principio de selección natural operase en la construcción y funcionamiento del cerebro.”

La Universidad Rockefeller era terreno fértil para estas ideas casi heréticas, porque contaba con el Programa de Neurociencia en el cual, ya desde los sesenta, se juntaban científicos de muchas disciplinas a discutir cómo funciona el cerebro. Sobre esa base, Edelman funda el Instituto de Neurociencia, que luego trasladaría a La Jolla, en California, donde construyeron un edificio espectacular especialmente para lo que Edelman pedía que fuese un “monasterio de científicos”. Todavía en Nueva York los esfuerzos iniciales fueron orientados hacia el desarrollo de robots que demostrasen darwinismo neural. Es allí donde Olaf Sporns hace su doctorado, al que se une Giulio Tononi, que venía de terminar su doctorado en fisiología del sueño en Pisa y había trabajado en las mismas aulas por las que transitó Giacomo Rizzolatti, el “padre” de las “neuronas espejo” y ganador del Premio Brain en 2014 junto con Dehaene.

Tononi siempre se interesó en explicar qué es la conciencia “eso que perdemos cuando estamos dormidos y que, si nos despiertan, no podríamos decir donde estábamos”, según sus propias palabras. Olaf y Giulio con el tiempo desarrollarían en el Instituto de Edelman (e incluso contradiciéndolo)

el marco teórico de los dos temas más vibrantes de las neurociencias actuales: la teoría de grafos aplicada al cerebro, en el caso de Olaf (*brain networks o connectome*) (169) y la teoría de información integrada de la conciencia, en el de Giulio. Por su parte, la teoría del espacio de trabajo se la debemos a Bernard Baars, miembro del Instituto de Neurociencia de la Jolla, y las de Anil Seth germinaron en ese mismo lugar años después. En suma, un Nobel de Medicina derivaría en una serie muy importante de avances en el estudio de la conciencia.

HIPÓCRATES LA UBICABA EN LOS VENTRÍCULOS DEL CEREBRO. DEMÓCRITO Y ARISTÓTELES LA IMAGINABAN DIFUNDIDA EN TODO EL CUERPO. EPICURO LA SITUABA EN EL ESTÓMAGO. LOS ESTOICOS EN EL CORAZÓN Y SUS ALREDEDORES; EMPÉDOCLES, EN LA SANGRE.

Allí se reunió la pólvora para que el estudio de la conciencia comenzara a avanzar con ímpetu, pero hubo un acontecimiento externo que encendió la mecha: “Como si viniera algo de la estratósfera que hace que el tema explote – continúa recordando Chialvo–, un anestesiólogo de la Universidad de Tucson en Arizona (donde también tenía yo mi laboratorio) llamado Stuart Hameroff comienza a elaborar, primero, con el físico Steen Rasmussen [del Laboratorio Nacional de Los Álamos] y luego con *sir* Roger Penrose [físico de la Universidad de Oxford que colaboró con Stephen Hawking] una idea descabellada para muchos. Hameroff se había entusiasmado con los microtúbulos, estructuras celulares que se encuentran en todas las células, incluyendo las neuronas. Inspirado en simulaciones de computadora y sabiendo que durante la anestesia los microtúbulos permanecen intactos, Hameroff sugiere entonces que la conciencia ‘vuelve’ al despertar de la anestesia pues estaría depositada en el microtúbulo de las neuronas. Y agrega a un misterio, otro: que las vibraciones de esos microtúbulos, más un efecto cuántico, son el sostén físico de esa conciencia. Terminó en un razonamiento *ad ignorantiam*: si no lo sabemos, entonces puede ser. Hameroff decide empezar a hablarles a los físicos sobre ese ‘secreto del microtúbulo’. Hoy día esa diseminación puede hacerse por redes sociales, pero en ese tiempo era crucial hacer eventos multitudinarios, y es así que Hameroff decide organizar

el primer congreso sobre las bases científicas de la conciencia: Tucson 94”. (170)

Tucson en esos días era una especie de sociedad pueblerina. Pero, de golpe, en 1994, miles de personas llegaron hasta allí para asistir al congreso de Hameroff. Y no fueron solo científicos. Había de todo, como en una feria persa. Desde lo más bizarro, por ejemplo, supuestos gurúes y personajes que aseguraban que si uno apretaba las teclas de una computadora pensando en una u otra cosa podía influir en la estadística de una serie de números aleatorios, hasta personalidades como Francisco Varela, Tononi, el filósofo Daniel Dennett, el neurofisiólogo colombiano Rodolfo Llinás, el australiano David Chalmers y Christof Koch. Claro, muchos pensaron que eso “era un escándalo”. Hasta que, dos años después, se hizo el Tucson 2, y el 3... Después se creó la revista científica... Finalmente se había roto el tabú: un evento fortuito motivado por una idea que nunca adquirió credibilidad (la de Hameroff) permitió que otras hipótesis progresaran y se estableció una creciente comunidad científica.

Daniel Dennett es uno de los patriarcas del estudio de la conciencia. Física e intelectualmente imponente, con su larga barba blanca y su bastón curvado con inscripciones en inglés y en islandés, tiene aires de profeta. (171) Navegante, agricultor aficionado, el filósofo amigable y de risa fácil es una especie de *rara avis* tan atraído por la experimentación como por la reflexión. Ferviente seguidor de Darwin, fan de Borges y prolífico escritor de libros de divulgación, sus estudios sobre el fenómeno de la conciencia, la naturaleza de la mente y la transformación de materia biológica en pensamiento le ganaron un homenaje durante la 20ª Reunión de la Sociedad para el Estudio Científico de la Conciencia que se realizó en Buenos Aires en 2018. (172) Pude saludarlo durante una pausa en ese encuentro que congregó a varias decenas de investigadores jóvenes y consagrados de todo el mundo. Cuando le pregunté cómo había llegado a este tema, me contó que había leído las *Meditaciones* de Descartes a los 17 años y le habían parecido fascinantes... pero equivocadas. Entonces, creyendo que no le llevaría más que un par de semanas de trabajo, se propuso dejar los errores en evidencia. Cincuenta años más tarde, todavía sigue lidiando con este problema. Para él, ciencia y filosofía deben trabajar juntas para resolverlo. “Si uno se remonta al siglo XVII, los filósofos eran los científicos –me dijo–. Descartes era un científico, Leibniz era un científico, Spinoza no, pero fabricaba lentes. Los filósofos estaban íntimamente involucrados con la ciencia de su tiempo. Después, en el siglo XIX, nos

alejamos, y los científicos pensaron que podían independizarse de la filosofía. Pero, como me gusta decir, no hay ciencia sin filosofía, solo hay ciencia hecha con una filosofía que no fue analizada. Algunos científicos pueden arreglárselas muy bien, pero otros cometen grandes errores, porque no piensan sobre los presupuestos que están utilizando. Eso es especialmente cierto en la psicología y las neurociencias. [...] No hace tanto muchos pensaban que nunca se iba a poder explicar la conciencia. Había tanta ignorancia sobre cómo funciona el cerebro, que resultaba consolador pensar que nunca habría una teoría apropiada para explicarlo.”

Sin embargo, aunque en los últimos diez años se produjeron enormes avances, las controversias continúan. A grandes rasgos, existen dos líneas de investigación en los estudios de la conciencia: una explora la fenomenología (sus manifestaciones) y otra lo que podríamos llamar su *maquinaria*. Para Dennett, cada elemento de la fenomenología depende de detalles de la maquinaria: “A medida que decodificamos cómo funciona la máquina –me explicó–, averiguamos claves sobre la fenomenología. Ya estamos en el punto en el que, por nuestro conocimiento acerca de cómo el cerebro hace varias cosas, podemos crear nuevas ilusiones visuales, ilusiones cognitivas nunca antes vistas. Podemos crearlas y confiar en que van a funcionar, porque sabemos cómo funciona el *backstage*. Cuando digo *backstage*, me resigno a la peor metáfora, el ‘teatro de la conciencia’. No existe tal cosa, el teatro cartesiano es una imagen irresistible, pero no hay tal teatro cartesiano. Dicho en otros términos, nuestros comportamientos emergen lisa y llanamente de la biología. Aunque tenemos que ser cuidadosos con lo que queremos decir por *biología*. La cultura también es biología”.

Dennett es conocido por haberle dado al lenguaje un papel importante en la conciencia humana. Para el filósofo, si bien pueden existir personas incapaces de hablar consigo mismas que aun así conservan una forma de conciencia humana, esta está enormemente empobrecida en comparación con la de alguien que sí puede hacerlo. Los chimpancés, los perros o los delfines están despiertos, tienen emociones y sentimientos, pero no tienen una vida mental. Es lo que él llama *aptitud sin comprensión*. “Tenemos tendencia a asumir que animales con comportamientos muy astutos entienden lo que están haciendo –dijo–. No. No lo necesitan. Cuando el pichón rompe el huevo y empuja a los otros fuera del nido para no competir por la comida de sus padres no sabe lo que está haciendo. Nosotros somos los ‘entendedores’, la única especie que tiene que entender lo que está haciendo.” Ilustra esta idea con ejemplos de

muchas instituciones humanas brillantemente diseñadas sin necesidad de un arquitecto que “son productos de la evolución cultural, de la misma manera en que el ala del pájaro es producto de la evolución genética. Se prueban muchas cosas, las que tienen éxito se mantienen y, las que no, se descartan. Así operaban los fabricantes de barcos de pescadores de Bretaña: los copiaban de los que hacían sus padres y abuelos, los enviaban al mar y reproducían los que volvían. Y así es como funciona la selección natural. No es necesario entender qué hace que un bote sea bueno: basta con copiar el modelo de los que vuelven a la costa”. Del mismo modo, cada uno de nosotros está conformado por cien billones de “robots” celulares, pero ninguna de esas células individuales es consciente, sabe quién es ni le importa. Todos los colores, ideas, recuerdos, historias que son la firma de nuestra identidad se sustentan en esas hordas de células que en sí mismas no son conscientes.

Algo similar dijo en una charla Ted de 2003: “La conciencia no es tan maravillosa como ustedes creen. Cuando las personas ven un truco de magia, jurarán que vieron x , y , o z aunque no las hayan visto. La memoria aumenta lo que vemos, y lo mismo es verdad de la conciencia”. (173)

De hecho, la palabra *conciencia* está teñida de ambigüedad. Se usa tanto para designar diferentes estados –como la vigilia y el sueño– como para significar darse cuenta de algo o reflexionar sobre el propio pensamiento. Un ejemplo en el que se pone de manifiesto esta última particularidad se presenta durante el estado vegetativo, en el que las personas parecen presentar estados de conciencia (por ejemplo, abren y cierran los ojos), pero no procesan información ni tienen la capacidad de integrarla en un esquema mayor: no se dan cuenta del mundo. (174) No hay una sola forma de vida vegetativa, sino todo un abanico, tal como se ve al medir con experimentos la capacidad de procesamiento cerebral de una cohorte de veinte pacientes en ese estado. (175)

Aunque no se sabe exactamente dónde ubicar la conciencia en esos pacientes, si en el estado inconsciente o el consciente, habría una suerte de frontera, como un salto, que permite que la información ingrese en las grandes redes del cerebro, explica Tristán Beckinschtein, un joven investigador argentino que actualmente es profesor titular de la Universidad de Cambridge de Gran Bretaña, cuyo trabajo sobre los estados de conciencia dio lugar al desarrollo de métodos que se usan mundialmente para detectar islas de conciencia en pacientes en ese estado. “Hay bastante acuerdo en que cuando una persona percibe un estímulo, a veces lo reporta y a veces no –afirma en la

entrevista que le hice—. En el primer caso, hay percepción consciente, y en el segundo, inconsciente.” Una de las hipótesis vigentes plantea que la conciencia emerge de una confluencia de circuitos cerebrales en un área común. Para Beckinschtein, definir la conciencia como un procesamiento cerebral global es una explicación simple, pero no satisfactoria: “Cuando uno habla sobre procesamiento global se refiere a la capacidad de integrar de manera eficiente y efectiva la información que llega al cerebro —destaca—. Pero tal vez no sea necesario usar gran parte del cerebro, sino una mínima cantidad de redes neuronales muy distribuidas. Se podría explicar con un ejemplo: uno puede ir a Mar del Plata con un auto nuevo; o puede ir con el auto sin puertas, sin chasis, sin asiento y casi sin volante, y llegar igual”.

Beckinschtein y Sigman hicieron uno de los experimentos (176) que permitieron probar esta idea. Vieron que si los pacientes en aparente estado vegetativo mostraban aprendizaje, se recuperaban o mejoraban, cambiaban de estado. Y lo mostraron mediante un test que consiste en emitir un sonido y, medio segundo más tarde, echarles un *puf* de aire al ojo. Los que aprenden cierran los ojos después de escuchar el sonido. La tarea es sencilla, pero exige unir dos cosas que están completamente separadas y para las cuales se necesitan redes de integración que, a su vez, están relacionadas con la capacidad de estar consciente. Para sorpresa de los científicos, cuando evaluaban a los pacientes comprobaron que los que aprendían se recuperaban y los que no, no. Ese estudio sugirió que es posible pronosticar cómo evolucionarán pacientes con trastornos de conciencia. Por eso, una de las formas de detectar si hay rastros de conciencia consiste en registrar las señales cerebrales. Si alguien muestra actividad cerebral consistente con haber pensado algo, eso no solo tiene el mismo valor que el reporte, sino también el mismo peso legal: “Para que un músculo se active, tiene que haberse activado la corteza motora del cerebro —explica Beckinschtein—. Ahora, si el músculo está atrofiado o la señal no pasa, pero uno ve que se activa la corteza motora, ¿la persona no está consciente? Si el auto está sin ruedas, no va a avanzar, pero avanzaría si uno se las pone. Si uno ve que gira el eje...”.

Stanislas Dehaene (177) es otra de las estrellas actuales de la exploración de la mente. Sus estudios y teorías ayudaron a desarrollar herramientas de diagnóstico que pueden orientar el tratamiento de personas con síndrome de enclaustramiento, un cuadro en el que los pacientes carecen de toda posibilidad de comunicación con el mundo exterior y que ofrece una

oportunidad de atisbar el impenetrable recinto de la conciencia. (178)

Dehaene, profesor del Collège de France, director de la Unidad de Neuroimágenes Cognitivas del Instituto Nacional de Investigación Médica y de la Salud (Inserm) y ganador (junto con Giacomo Rizzolatti y Trevor Robbins) del Brain Prize 2014, considerado el Nobel de las neurociencias, está convencido de que hay muchas formas de investigar los engranajes del cerebro en el laboratorio y con métodos que van más allá del reporte subjetivo. Un experimento consiste en mostrarles imágenes subliminales a los sujetos. La imagen está allí, atraviesa su retina, llega a su córtex cerebral, pero no ingresa en su conciencia. Le preguntan si la vio y, analizando cuándo hubo o no conciencia de la imagen, pueden elucubrar qué pasa a nivel cerebral.

Uno de los proyectos más ambiciosos que tiene entre manos es desarrollar un instrumento que mida huellas objetivas de la conciencia, escalas que se deriven directamente de registros de la actividad cerebral a partir de paralelismos entre la biología del cerebro y los reportes de los pacientes. Para el también director del laboratorio Neurospin, ubicado en Saint-Aubin/Saclay, a 25 kilómetros al sudoeste de París, la conciencia no está localizada en un área particular del cerebro sino que es una forma de procesamiento: la información, por ejemplo, el color de una remera, se hace consciente cuando es compartida por múltiples circuitos cerebrales. De acuerdo con esta visión, la conciencia es una suerte de *lingua franca* entre varias áreas del cerebro. “Cuando una persona está consciente, las regiones cerebrales todo el tiempo intercambian mensajes entre sí —explica Dehaene—. Desde cierto punto de vista, estar conscientes quiere decir tener accesible la información, de modo que uno puede reportarla, recordarla, compararla’.” (179) En sus estudios, en los que participó el argentino Pablo Bartfeld, biólogo recibido en la Universidad Nacional de Córdoba, vio que la diversidad de las redes activas es mucho mayor cuando la persona está despierta. Midiendo la intensidad y la dinámica de esa comunicación, mostraron que en el cerebro consciente hay un flujo de información que cambia constantemente, incluso cuando en apariencia no estamos haciendo nada. “Es lo que [el pionero de la psicología funcional] William James llamaba ‘el flujo de la conciencia’”, dice. En cambio, cuando el cerebro está anestesiado, “este flujo se detiene. La actividad continúa, pero se vuelve predecible. Es decir: la dimensión de la flexibilidad y los cambios dinámicos en el intercambio de información son una firma de la conciencia”.

El cerebro puede trabajar hasta un tercio de segundo de manera no consciente. (180) Por ejemplo, cuando le toman una imagen al cerebro de una

persona que lee una palabra, se ve que hay toda una actividad suplementaria en el córtex. Si uno lee de forma inconsciente, la información permanece bloqueada en ciertos centros del lóbulo temporal; pero si tiene un acceso consciente a lo que lee, la información se reparte: llega hasta la región frontal y de allí se difunde a muchas otras áreas cerebrales. De modo que lo que llamamos *estar conscientes* sería, justamente, tener cierta información disponible dentro de un espacio de trabajo global que es difuso. (181) Según Dehaene, la ciencia actual distingue tres componentes de la conciencia: la atención, la vigilancia (el estado de vigilia, que varía cuando nos quedamos dormidos o nos desmayamos) y el acceso consciente (que hace que cierta información ingrese en nuestra percepción y se vuelva comunicable a los demás). Este último es el que cuenta como conciencia genuina: el simple hecho de que, mientras estamos despiertos, cualquier cosa en la que pongamos atención se volverá consciente. (182)

A partir de investigaciones de más de una década utilizando desde la resonancia magnética funcional hasta el electroencefalograma (EEG) y la magnetoencefalografía, e incluso insertando electrodos intracraneales en las profundidades del encéfalo, Dehaene y su equipo distinguieron patrones de actividad cerebral que aparecen solo si la persona estudiada tiene una experiencia consciente (es lo que llama *sellos* o *marcas* de la conciencia). Sugieren que esta surge de una red neuronal cuya razón de ser es que todo el cerebro pueda compartir información pertinente. Los científicos creen que se trata de células gigantes cuyos largos axones atraviesan la corteza interconectándola en un todo integrado gracias al cual es posible seleccionar, amplificar y propagar los pensamientos relevantes.

Para probar esta hipótesis, reprodujeron sus descubrimientos más importantes en simulaciones computarizadas: cuando una cantidad suficiente de regiones cerebrales se sincronizan en un estado de comunicación global a gran escala, la información ya no se procesa de una forma refleja, sino que es factible reflexionar sobre ella y darle la trayectoria que se prefiera, y también es posible conectarla con las áreas del lenguaje para comunicarla a los demás.

Otro de los temas que estudia Dehaene es desde qué momento se puede hablar propiamente de conciencia. ¿Son conscientes los recién nacidos? ¿Y los fetos en el útero? La corteza cerebral de un bebé comienza a plegarse desde los 6 meses y medio de gestación. Y, en el recién nacido, regiones corticales distantes ya están fuertemente interconectadas y procesan información, aunque a un ritmo más lento que los adultos. Dehaene y su mujer, Ghislaine Dehaene-

Lambertz, también neurocientífica de renombre mundial, llegaron a detectar los sellos característicos de su objeto de estudio ya en bebés de 2 meses. “Pero como los experimentos son difíciles –afirma el científico–, todavía no sabemos si la conciencia ya está presente en el nacimiento o incluso antes... Jean-Pierre Changeux, mi mentor, sugiere que tal vez el primer momento en que adquirimos conciencia es al nacer, porque hay un cambio masivo en las catecolaminas [un tipo de neurotransmisores] que bañan el cerebro. Pensamos que durante la gestación el cerebro podría estar anestesiado y súbitamente dejar de estarlo durante el parto.”

Gabriela García Gutiérrez era una beba en apariencia igual a todas. Nacida en Cali, Colombia, su ritmo de desarrollo, algo más lento de lo esperable, parecía caer dentro del rango de la normalidad. (183) Iba a una escuela común hasta que comenzó a mostrar una conducta desinhibida imposible de controlar. Estudios de resonancia magnética y otros exámenes arrojaron un resultado inesperado: por alguna razón imposible de determinar con precisión, a Gabriela le “falta” gran parte del cerebro: la que abarca los lóbulos frontales, precisamente las estructuras que son clave para los mecanismos de control y la capacidad de abstracción. Sin embargo, y pese a que, como dice su madre, “debería ser un vegetal”, habla, camina, reconoce los colores y es consciente del paso del tiempo. Su caso pone en cuestión muchas de las nociones aceptadas por la neurociencia actual, (184) ya que, analizando sus resonancias magnéticas, se pensaría que no habla (porque carece del área de Broca), no camina (porque no tiene corteza motora), no siente (porque no tiene las ínsulas anteriores), y así. Ante evidencias como estas, cabe preguntarse qué procesos neurales mínimos se necesitan para estar consciente, eso que los científicos denominan el “correlato neuronal de la conciencia; es decir, el conjunto mínimo de acontecimientos neuronales para que se produzca una percepción consciente específica”. (185) La pregunta se revela en toda su intrincada complejidad si se tiene en cuenta que, si una persona sufre un corte en la médula espinal por un accidente, quedará parálitica de piernas, brazos y torso, incapaz de controlar el intestino y la vejiga, y sin sensaciones corporales, pero continuará viendo, oyendo, recordando y sintiendo aromas y emociones. (186) Algo similar ocurre con el cerebelo, ubicado en la región posterior y baja del encéfalo, cuya función principal es integrar las vías sensitivas y motoras. Suele llamárselo el *pequeño cerebro* y, en términos evolutivos, es uno de los circuitos cerebrales más antiguos. Está involucrado en el control motor, la postura y la marcha, y en la ejecución fluida de secuencias complejas de

movimientos. Aunque tiene alrededor de sesenta y nueve mil millones de neuronas –cuatro veces más que el resto del cerebro combinado–, (187) los pacientes que sufren daños en esa área, un accidente cerebrovascular o una cirugía, no manifiestan problemas de conciencia. Pueden perder fluidez al escribir o tocar el piano, pero conservan el sentido de sí mismos, no tienen déficits en los sentidos ni en la memoria, y pueden imaginar el futuro.

Para Christof Koch, director del Instituto Allen para la Ciencia del Cerebro de Seattle, esto se debe a que es casi exclusivamente un circuito de alimentación: un conjunto de neuronas informa al siguiente, lo que a su vez influye en un tercer grupo. La información viaja en un solo sentido y no se dan esos bucles de retroalimentación complejos que se consideran condición sine qua non de la percepción consciente.

El italiano Giulio Tononi es otro de los que exploran el intrincado territorio de la conciencia. Desde que tenía 16 años se pregunta qué es, de qué está hecha y cómo se genera dentro del cerebro. Con estas preguntas inicia el prefacio de su libro *Phi. A voyage from the brain to the soul*. (188)

Actualmente director del Centro de Investigación del Sueño y la Conciencia de la Universidad de Wisconsin-Madison, en Estados Unidos, pasó por Buenos Aires invitado por Chialvo para dar una serie de conferencias y recibir un doctorado *honoris causa* de la Universidad de San Martín. (189)

Tononi sostiene que la conciencia se da cuando el cerebro genera un patrón global de activación integrada o sincronizada en diversas áreas de la corteza cerebral. Según su teoría de la información integrada, la conciencia cumple con dos condiciones: debe generar información que permita especificar los posibles estados previos y futuros (como un semáforo: vemos que está encendida la luz amarilla y sabemos que luego pasará a estar roja o verde) y esta información debe estar integrada, es decir que la información del sistema en su totalidad es mayor que la suma de la que generan sus partes. En 2014, Tononi sentó bases matemáticas que permiten traducirla en un índice que denominó *Phi* (el número de oro). Por ejemplo, el cerebro de una persona dormida tendrá un valor de *Phi* más pequeño que el de una persona despierta, y el de una mosca nos dará también un valor mayor de *Phi* que el circuito electrónico de una cámara fotográfica, ya que esta última no tiene capacidad de integrar la información que recibe de los miles de píxeles de su sensor lumínico. (190)

Pero, aunque *Phi* está muy bien definido matemáticamente, en la práctica no se puede calcular porque, para sistemas con muchos elementos (como el

cerebro de una mosca), los cálculos necesarios para obtenerlo son astronómicas. Para superar este obstáculo, el grupo de Marcello Massimini, de la Universidad de Milán, desarrolló lo que llamaron índice de complejidad *perturbacional*, que se obtiene tras aplicar un pulso magnético inofensivo en el cerebro de un paciente y medir la complejidad de la respuesta en su EEG. Si el cerebro en el momento del estímulo estaba procesando información integrada, la respuesta será muy diferente a la que se obtiene si estaba en un modo menos integrado. Así, los investigadores desarrollaron escalas que pueden indicar con un bajo nivel de error si una persona está consciente o no a partir de una estimación de la complejidad de la respuesta del cerebro.

Para Chialvo, las propiedades de la conciencia definidas por Tononi y sus colaboradores (191) coinciden perfectamente y sin excepción con las de un sistema que exhibe *criticalidad*. Por eso, en su estudio aplica herramientas que la física estadística utiliza en el estudio de los fenómenos colectivos complejos. (192) Si bien sus ideas no son contradictorias con la teoría de la información integrada, presentan diferencias relevantes. El planteo de Tononi nada dice acerca de cómo surgen estas propiedades y solo visualiza estados estáticos, mientras que, desde la visión compleja de Chialvo, en el cerebro estas propiedades aparecen espontáneamente toda vez que el sistema “se hace crítico”. En ese sentido, el investigador argentino dice: “La principal diferencia [...] es que nosotros no queremos ni ser novedosos ni crear una teoría *ad hoc*, sino que intentamos entender la conciencia utilizando el mismo marco teórico que la termodinámica de no equilibrio. Se podría decir que el estudio del cerebro está en la actualidad en el mismo sitio que la física en los días previos a la noción de temperatura. Las similitudes entre el agua caliente y el hielo podían ser interpretadas por tener propiedades similares en las que ambos queman, donde caliente y frío eran solamente cantidades subjetivas. Por supuesto, la noción de ‘presión’ y ‘temperatura’, junto con la de ‘fases’, cambiaron todo. La teoría del cerebro va a pasar por la misma transformación”.

La huella de la conciencia, explica, es un cierto estado de complejidad cerebral definido por una capacidad de integrar y segregar al mismo tiempo. “Ni el excesivo desorden de un gas ni el orden extremo de las moléculas de un sólido son percibidos como complejos, pero sí aquellos estados de la materia y los fenómenos que están asociados con niveles intermedios de orden y desorden. Es en esa región intermedia, mezcla de orden y anarquía, donde habitan los fenómenos más complejos, incluyendo la vida, el lenguaje, las

proteínas, la turbulencia”, afirma. (193)

La complejidad emerge en mayor medida en un sistema cuando se acerca a un punto crítico de transición de fase orden-desorden. En ese momento, cuando comienzan a observarse patrones que exhiben una mezcla de orden y desorden (ni todos los elementos microscópicos del sistema hacen lo mismo, ni cada uno se comporta aleatoriamente), aumenta el “repertorio” de patrones que el sistema es capaz de exhibir. Este punto crítico sería compatible con la conciencia. “Si todas las neuronas se comportaran de la misma manera, estaríamos ante un ataque epiléptico –afirma Chialvo–. Si cada una se comportara aleatoriamente, no habría intercambio de información. En ninguno de los dos extremos es concebible desarrollar conductas que nos permitan la supervivencia. En cambio, cerca del punto crítico, el cerebro dispone del mayor repertorio de neuronas excitadas o apagadas con el que puede producir las más diversas conductas o emociones.” En este sentido, considera que la estructura del cerebro, es decir, qué circuito se conecta con cuál, no es suficiente para descifrar cómo se generan la cognición y el comportamiento. Lo que es relevante es la dinámica. Para Chialvo, entonces, no habría un mecanismo neuronal específico que dote al cerebro de la conciencia, sino que este podría entrar y salir del estado consciente ajustando un solo parámetro, como ocurre con la temperatura o la presión en el ejemplo del agua. Trabajos hechos en su laboratorio y replicados en otros centros demuestran en registros de resonancia magnética de voluntarios humanos configuraciones análogas a los cambios cualitativos observados en las transiciones de fase y compatibles con distintos estados de conciencia. Desde esa perspectiva, el estado de vigilia corresponde al estado crítico, mientras que el sueño profundo o la pérdida de la conciencia debido a anestesia general son consistentes con un estado subcrítico. Por otra parte, las alteraciones de la conciencia producidas por alucinógenos expresarían un estado supercrítico en el que la entropía (el grado de desorden) de estados está aumentada. “Si bien es fascinante comprobar estas analogías entre las fases y el cerebro no debiera sorprendernos. Son perfectamente esperables, siempre que un número suficientemente grande de elementos interactúe en forma no lineal, sean neuronas, anticuerpos, individuos en una sociedad, hormigas; estos fenómenos emergen –subraya–. Lo mismo que determina que la materia exista en solo unas pocas fases (sólida, líquida, etcétera) también determina esa criticalidad intermedia y emergerá obligatoriamente en el cerebro consciente, porque las mismas leyes del universo son las que rigen el cerebro.”

De todos modos, cuanto más se avanza, más queda en evidencia que todavía es muy poco lo que se sabe. No se entiende cómo el córtex expresa la conciencia, por qué esta se esfuma durante el sueño (aunque el córtex permanece activo); si están conscientes los pacientes con una isla de cerebro funcional rodeada de tejido neuronal dañado; cómo se explican episodios como los de despersonalización, esas extrañas experiencias en las que la persona puede “desconectarse” o volverse extraña para sí misma; (194) o qué sucede en el cerebro anestesiado. “Tendemos a pensar que estar anestesiados es como dormir. Pero la verdad es aún más extraña: es como que nos desmonten la mente y la vuelvan a armar”, dice la periodista Cate Cole-Adams, que durante años investigó infrecuentes episodios en los que pacientes sometidos a una intervención quirúrgica mantienen la conciencia. (195) De hecho, los anestesiólogos no están seguros de los mecanismos mediante los cuales actúan las drogas hipnóticas que aplican. “Se podría imaginar la mente anestesiada como una sala de conciertos en la que falta el director, pero la orquesta sigue tocando. Los sistemas del cerebro continúan operando, pero fuera de sincronía”, afirma Cole-Adams.

Para Dehaene, los principales desafíos para el futuro son dos. El primero es desentrañar cuál es la naturaleza del código neural —es decir, cómo computan las neuronas individuales, cuál es el código preciso para que cada estado individual del cerebro esté codificado en nuestros circuitos neurales— y lo segundo es reproducir la conciencia en máquinas. “Podría no ser tan difícil —asegura—. Le doy algunas ideas: un sistema para romper la modularidad e intercambiar información a través de diferentes aplicaciones, por ejemplo, en su teléfono. Su celular no es consciente porque la información está siendo canalizada por circuitos muy específicos. Así, el GPS sabe dónde está usted, pero la aplicación de correo electrónico, no. Si hubiera un modo de compartir información, y el teléfono en sí mismo pudiera decidir lo que es relevante para usted, sería consciente.” (196)

Algo así imaginaba Marvin Minsky, un matemático de formación y pionero de la inteligencia artificial que se apasionó por la posibilidad de dotar de inteligencia a las máquinas, además de anticiparse a Internet y al movimiento del *software* libre, diseñar algunos de los primeros *scanners* visuales y sensores táctiles, estar involucrado en la creación de la tortuga del programa Logo, que se convertiría en el primer cursor, y hasta desarrollar el primer microscopio confocal. (197) En 1958, junto con John McCarthy, que había sido compañero de doctorado en la Universidad de Princeton, creó el

programa de inteligencia artificial del MIT. (198)

En 1992, Minsky pasó cuatro días en Buenos Aires. Su aguda inteligencia, su curiosidad sin límites y sus ideas desafiantes no pasaron desapercibidos. Por aquel entonces, muchos teóricos pensaban que los principios necesarios para acrecentar la potencia de las máquinas ya se dominaban y solo se necesitaban nuevos logros de ingeniería para el almacenamiento de enormes cantidades de datos. Minsky, por el contrario, no dudó en sostener que la meta de las máquinas inteligentes solo se alcanzaría por medio de nuevas concepciones acerca de la estructura de la mente y de la naturaleza del pensamiento. En su libro *La sociedad de la mente*, (199) da su versión de cómo puede surgir la inteligencia de algo no inteligente y plantea que está formada por numerosos procesos más pequeños a los que da el nombre de *agentes*. Según su teoría, cada agente por sí solo es tonto y solo puede realizar una tarea sencilla que no requiere en absoluto de mente ni de pensamiento. En cambio, la reunión de esos agentes en sociedades permite la aparición de la inteligencia. En una entrevista que me concedió durante esa visita, (200) pronosticó un futuro poblado por máquinas conscientes: “Lo maravilloso de la realidad virtual es que nos proporcionará un mundo en el que las cosas realmente tendrán sentido. En el mundo virtual, esta silla sabrá que es una silla; cuando uno termine de jugar, los juguetes se guardarán solos, todo estará limpio y tendrá sentido, será más eficiente y no perderemos tiempo. Viviremos en una suerte de Bujolandia. (201) Ahora, el mundo es como un mal hotel. Algunos no se dan cuenta de lo aburrido que puede ser”.

Tononi disiente de esa visión optimista y un tanto fantasiosa: la teoría de la información integrada predice que una simulación sofisticada de un cerebro humano que se ejecuta en una computadora no puede ser consciente, aunque pueda hablar. Así como la simulación de la atracción gravitacional masiva de un agujero negro en realidad no deforma el espacio-tiempo alrededor de la computadora que implementa el código astrofísico, la programación para la conciencia nunca creará una computadora consciente. La conciencia debe estar integrada en la estructura del sistema. “La teoría en la que he estado trabajando dice absolutamente que no [habrá máquinas conscientes] –subraya el científico–. Podrán hacer todo lo que hacemos nosotros, pensarán todo lo que nosotros pensamos, aprenderán, mostrarán emociones... Y sin embargo, carecerán de experiencias. Serán zombis. Estamos preocupados de que las máquinas se queden con nuestros trabajos, lo que tal vez hagan, de que se deshagan de nosotros, algo que podrían hacer si son muy inteligentes, pero no

nos preocupamos de que podríamos dejarle el mundo a un puñado de máquinas que no están allí. Que ni existen. Existen para nosotros, pero no para ellas mismas. Tener conciencia es existir para uno mismo como una única entidad integrada con un largo repertorio de experiencias posibles. La conciencia no es una función, sino existir como una entidad integrada.”

En una vuelta de tuerca a estos argumentos, Anil Seth, que fue estudiante de posdoctorado de Tononi en San Diego, va más allá y dice que el cerebro “alucina la realidad”. Incluso la experiencia del *yo* puede ser una alucinación. “Hace poco más de un año dejé de existir –afirmó en una charla TED–. (202) Me sometí a una pequeña cirugía. Cuando uno se despierta puede estar algo confuso, pero siempre hay un sentido del paso del tiempo, de continuidad. No es lo que ocurre cuando uno está anestesiado: pudieron haber pasado cinco minutos, cinco horas o cincuenta años. La anestesia es una forma moderna de la magia. Convierte a las personas en objetos y luego las trae de regreso. Y en los trazos de este proceso está el misterio más grande de la filosofía y de la ciencia actuales: de dónde surge la conciencia. Contestar esta pregunta es fundamental, porque sin conciencia no hay mundo, no hay *yo*, no hay nada.”

Para Seth, así como en algún momento se creyó que la vida no podía explicarse, que tenía que ser algo más que química y biología, también en el futuro se podrán develar los engranajes de la conciencia. Propone empezar por pensarla en sus dos vertientes: como experiencia de sonidos, colores y aromas, y como la experiencia del *yo*, de ser nosotros. (203) Y, dado que numerosos experimentos muestran que nuestras percepciones no solo ingresan por los sentidos de afuera hacia adentro, sino que son construidas desde adentro hacia afuera (porque también influyen nuestras expectativas), invita a pensar el cerebro como una “máquina predictiva”: “No hay luces ni aromas dentro del cráneo, solo señales eléctricas que están indirectamente relacionadas con lo que hay allá afuera –afirma–. No vemos luces ni olemos aromas: lo que percibimos es la mejor suposición de lo que hay en el mundo. La percepción, por lo tanto, es un proceso de inferencia en el que señales sensoriales indeterminadas se combinan con expectativas previas o ‘creencias’”.

La experiencia específica de ser nosotros es nuestro *yo* consciente. ¿Qué distingue el ser consciente de simplemente estar despierto? No se trata solo de la cantidad de neuronas involucradas y ni siquiera del nivel general de actividad neuronal, ya que el cerebro está casi tan activo durante ciertas etapas del sueño como durante la vigilia consciente. Además, para Seth, la

conciencia depende del nivel de integración e información de nuestras experiencias: “Toda experiencia consciente [...] está integrada, aparece como una escena unificada –escribe–. No experimentamos los colores por separado de sus formas, ni los objetos independientemente de su fondo. Los muchos elementos diferentes de mi experiencia consciente parecen estar unidos de una manera profunda como aspectos de un solo estado de conciencia abarcador”.

Para el neurocientífico, el cerebro también conforma su experiencia de la individualidad a partir de su “mejor suposición”, construida en función de expectativas previas y de los datos sensoriales disponibles: los sentidos corporales, percepción de la configuración del cuerpo en el espacio y del interior del cuerpo se dan a partir de datos como la presión arterial, la tensión gástrica y los latidos del corazón. Podría pensársela como “alucinaciones controladas” de un tipo muy distintivo. Y aunque diversos experimentos identificaron regiones cerebrales que se asocian con la percepción consciente, independientemente de si es visual, auditiva o en alguna otra modalidad sensorial, no resuelven el problema real de la conciencia. “Necesitamos una teoría general de la percepción que describa qué hacen los cerebros, no solo dónde lo hacen”, aclara Seth. Y agrega: “Estos hallazgos nos llevan a Descartes. En lugar de ‘Pienso, luego existo’, podemos decir: ‘Me predigo, por lo tanto, soy’”.

De modo que estamos de nuevo en el comienzo. ¿Contestan estas propuestas –el espacio de trabajo neuronal global postulado por el psicólogo Bernard J. Baars y por los neurocientíficos Stanislas Dehaene y Jean-Pierre Changeux, la mente “crítica” de Chialvo, la teoría de la información integrada (y segregada) de Tononi y Koch o la teoría del cerebro predictivo de Seth– cómo surge la conciencia de un sustrato biológico?

Sigman, un observador del campo de las neurociencias en su totalidad, considera que no. Coincide con Chialvo en que hoy el estudio de la conciencia está en el mismo punto en el que estaba la física respecto del calor en plena Revolución industrial: “La máquina de vapor era el motor del avance económico y los emprendedores del momento necesitaban respuestas urgentes a un problema del cual los científicos no sabían casi nada. Creían, por ejemplo, que el calor era la expresión de una sustancia, convenientemente llamada *calórico*. (204) Los grandes científicos del momento pensaban que ese sustrato iba de un lado a otro enfriando unas cosas y calentando otras. Hoy sabemos que el calor es en realidad un estado –agitado y en movimiento– de las moléculas y la idea del *calórico* parece casi absurda. Sería injusto decir

que no sabemos nada. Sabemos mucho, y eso nos permite manejar anestias, entender cómo se apaga la conciencia, predecir si una persona en un momento dado está consciente o no, tenemos ‘huellas digitales’ de la conciencia. Pero la respuesta corta es que, si uno los mira críticamente, estos modelos todavía son endebles. Y no es meramente una opinión personal: si tuviésemos un buen modelo de la conciencia podríamos empezar a pensar cómo plasmarla en un sustrato no biológico. Por ejemplo, cuando entendimos de qué se trataba la vida, que hace un tiempo era un profundo misterio filosófico y científico, pudimos producirla artificialmente, desarrollar moléculas sintéticas. Hoy nadie tiene ni idea de cómo tomar un material y dotarlo de conciencia. Aunque le ponga un espacio de trabajo y le agregue criticalidad, no se va a volver consciente... Por otro lado, hay una discusión filosófica sobre si el problema tiene solución o no. Hoy no lo sabemos, pero la historia humana sugiere que muchos problemas que nos parecían absolutamente irresolubles a la larga se resolvieron. El calor era fundamental en la Revolución industrial: había que entenderlo porque era vital para la economía. Ahora, con la explosión de la inteligencia artificial, el problema de la conciencia se vuelve más urgente. Y es probable que terminemos de entender mucho más de la conciencia tratando de emularla por fuerza bruta”.

NO TENEMOS UNA PERSONITA ADENTRO DE LA CABEZA DIRIGIENDO NUESTRAS ACCIONES; POR ESO, NUESTRA DEFINICIÓN TAL VEZ DECEPCIONE. PARA MUCHA GENTE, LA CONCIENCIA ES UNA SUERTE DE MAGIA. ES COMO LA MAGIA DEL ESCENARIO.

Desafiado a dar una definición breve de la conciencia, Daniel Dennett advierte que tal vez no sea lo que esperamos: “Es como preguntarle a un biólogo qué es la vida –se ríe–. O preguntarle a un físico qué es la realidad. Las definiciones cortas tal vez sean buenas para eslóganes publicitarios, pero fuera de eso no son muy valiosas. Creo que la debilidad de un filósofo es que pasa tanto tiempo definiendo las palabras que no le queda tiempo para hacer la investigación. Una vez que tengamos una buena idea de qué son los fenómenos, podremos volver atrás y encontrar una buena definición. Hoy tenemos una buena definición de la vida en tres términos: si algo captura energía

(metabolismo), se reproduce y se autorrepara tiene vida. Nadie podría haber llegado a esa definición hace un par de siglos. ¿Tal vez en otro par de siglos seremos capaces de definir la conciencia? Sí, y cuando lo hagamos, predigo que no tendrá nada de vitalismo. En la definición de la vida no hay ningún ingrediente mágico. Son elementos de todos los días –proteínas y moléculas de ADN–. No hay [un] *élan* [impulso] vital. Y lo mismo pasará con la conciencia. No tenemos una personita adentro de la cabeza dirigiendo nuestras acciones; por eso, nuestra definición tal vez decepcione. Para mucha gente, la conciencia es una suerte de magia. Es como la magia del escenario. Y de la misma forma en que nos desilusionamos si nos damos cuenta de cómo un mago hace sus trucos, tenemos que prepararnos para la decepción”.

158- S. Dehaene, *La conciencia en el cerebro*, Buenos Aires, Siglo XXI, 2015.

159- Es una analogía con la fórmula *the f word* que se usa en inglés para aludir sin nombrarla a la palabra *fuck* (usualmente traducida como “mierda”).

160- Cit. en D. Ackerman, *Magia y misterio de la mente. La maravillosa alquimia del cerebro*, Buenos Aires, El Ateneo, 2005.

161- Cit. en M. S. Gazzaniga, *The consciousness instinct: unraveling the mystery of how the brain makes the mind*, Nueva York, Farrar, Straus and Giroux, 2018.

162- S. Dehaene, *La conciencia en el cerebro*, ob. cit.

163- T. Bekinschtein, “Los presidentes también prestan atención y tienen memoria”, en D. Golombek y N. Bär (eds.), *Neurociencias para presidentes*, Buenos Aires, Siglo XXI, 2017.

164- N. Bär, “Los que deciden volver”, *La Nación*, 8-05-2005.

165- Gell-Mann obtuvo el Premio Nobel de Física en 1969 por su trabajo en partículas elementales, entre ellas, los quarks. Fue un niño prodigio: ingresó a la Universidad de Yale a los 15 años y obtuvo la licenciatura en física a los 19. A los 22 se doctoró por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por su sigla en inglés) con una tesis sobre el tema que iba a ocupar la mayor parte de su vida: las partículas subatómicas.

166- Destacado filósofo chileno que, junto con Humberto Maturana, introdujo el concepto de autopoiesis en la biología y luego promovió un diálogo con el budismo.

167- P. Bak, *How nature works: the science of self-organized criticality*, Nueva York, Copernicus, 1996.

168- J. Ouellette, “A fundamental theory to model the mind”, *Quanta Magazine*, 3-04-2014.

169- Véanse O. Sporns, *Networks of the brain*, Cambridge, MIT Press, 2010, y O. Sporns, *Discovering the human connectome*, Cambridge, MIT Press, 2012.

170- En los años noventa, Stuart Hameroff y Roger Penrose propusieron que los microtúbulos, las unidades más pequeñas del citoesqueleto, actúan como canales para la transferencia de información cuántica responsable de la conciencia. Hoy, Hameroff es director del Centro para Estudios de la Conciencia de la Universidad de Arizona, que él fundó. La Conferencia Tucson se realiza bienalmente sin interrupciones hasta el presente.

171- Dennett dirige el Centro de Estudios Cognitivos de la Universidad de Tufts. Es autor de numerosos libros para el público general, como *Contenido y conciencia*, *El ojo de la mente* (con Douglas Hofstadter), *Dulces sueños: obstáculos filosóficos para una ciencia de la conciencia* y *La evolución de la libertad*, entre otros.

172- N. Bär, “Daniel Dennett: ‘Estamos rodeados de herramientas para pensar; eso es lo que distingue el cerebro humano’”, *La Nación*, 20-06-2016.

173- D. Dennett, *The illusion of consciousness*, disponible en: <www.ted.com/talks/dan_dennett_on_our_consciousness>.

174- T. Bekinschtein, “Los presidentes también tienen conciencia”, en D. Golombek y N. Bär (eds.), *Neurociencias para presidentes*, ob. cit.

175- N. Bär, “Tristán Bekinschtein: ‘Ahora el debate científico sobre Terry Schiavo sería mucho más simple’”, *La Nación*, 24-11-2014.

176- T. Bekinschtein, M. Sigman y otros, “Classical conditioning in the vegetative and minimally conscious state”, *Nature Neuroscience*, 12(10): 1343-1349, octubre de 2009.

177- Nacido en la ciudad industrial de Roubaix en 1965, Dehaene es hijo de un pediatra francés que fue pionero en el estudio del síndrome alcohólico fetal. Apasionado durante la adolescencia por la matemática y excelente alumno, fue admitido en la escuela de las élites francesas, la École Normale Supérieure de París. Allí se orientó hacia el estudio de la inteligencia artificial hasta que, a los 18 años, leyó el libro de Jean-Pierre Changeux, *El hombre neuronal*. Tras su encuentro con el científico cognitivo Jacques Mehler mientras realizaba su doctorado, Dehaene encararía el estudio de las más cardinales competencias humanas: la génesis del número en el cerebro, la lectura y la conciencia.

178- N. Bär, “Stanislas Dehaene: ‘Somos el sujeto de nuestra conciencia, pero no podemos dirigirla, no somos sus amos’”, *La Nación*, 2-04-2015.

179- N. Bär, “Neurospin: un recorrido por la catedral del cerebro”, *La Nación*, 10-11-2015.

180- N. Bär, “El cerebro no funciona como una computadora”, *La Nación*, 11-04-2014.

181- S. Dehaene, *El cerebro lector*, Buenos Aires, Siglo XXI, 2017.

182- S. Dehaene, *La conciencia en el cerebro*, ob. cit.

183- N. Bär, “Ciencia: tiene ocho años, le falta parte del cerebro y su caso desafía a los médicos”, *La Nación*, 28-04-2018.

184- A. Ibáñez, M. Zimmerman y otros, “Early bilateral and massive compromise of the

frontal lobes”, *Neuroimage Clinical*, vol. 18, 2018, pp. 543-552.

185- T. Schlicht, “El enigma de la conciencia”, *Investigación y Ciencia*, nº 88, enero-febrero de 2018.

186- C. Koch, “What is consciousness?”, *Scientific American*, 1-06-2018.

187- *Ibíd.*

188- G. Tononi, *Phi. A voyage from the brain to the soul*, Nueva York, Pantheon Books, 2012.

189- N. Bär, “Giulio Tononi: ‘Para nosotros, dormir es como comer o tener sexo; la cuestión es: ¿se parece más a comer o a tener sexo?’”, *La Nación*, 13-04-2017.

190- A. Ibáñez Molina, “Cerebro y conciencia 1: PHI o la Teoría de la Información Integrada”, *Investigación y Ciencia*, 22-09-2016.

191- G. Tononi, M. Boly y otros, “Integrated information theory: from consciousness to its physical substrate”, *Nature Reviews Neuroscience*, 17(7): 450-461, julio de 2016.

192- D. Chialvo, “La complejidad del cerebro, el delicado y robusto balance entre orden y anarquía”, *Ciencia e Investigación*, t. 68, nº 3, 2018.

193- D. Chialvo, “La complejidad del cerebro, el delicado y robusto balance entre orden y anarquía”, *ob. cit.* Un ejemplo que utiliza para imaginar el funcionamiento de la mente y la emergencia de la conciencia es el modelo de las fases o estados del agua –sólido, líquido y gaseoso–. Aunque son bien diferentes, están regidos por las mismas leyes de la física y basta un cambio relativamente pequeño en la temperatura para originar diferentes conductas colectivas de las mismas moléculas. El gas es un conjunto de moléculas de agua moviéndose en cualquier dirección. A medida que la temperatura desciende, la agitación se va reduciendo, tienden a juntarse y comienzan a agruparse. Cuando la temperatura es menor a 100° C, eventualmente se forman gotas de agua. Si sigue bajando, las fuerzas atractivas juegan un papel cada vez más importante y, al llegar a 0° C, producen estructuras microscópicas regulares, lo que da lugar al hielo. El vapor, el agua y el hielo resultan de distintas conformaciones de las mismas moléculas.

194- A. Ciaunica y J. Charlton, “When the self slips”, *Aeon Magazine*, 3-07-2018.

195- Cit. en J. Rothman, “Awake under anesthesia”, *The New Yorker*, 3-01-2018.

196- N. Bär, “Stanislas Dehaene: ‘Somos el sujeto de nuestra conciencia, pero no podemos dirigirla, no somos sus amos’”, *ob. cit.*

197- Se trata de un microscopio que emplea una técnica óptica para aumentar el contraste y reconstruir imágenes tridimensionales.

198- N. Bär, “Murió Marvin Minsky, legendario pionero de la inteligencia artificial”, *La Nación*, 26-01-2016.

199- M. Minsky, *La sociedad de la mente*, Buenos Aires, Galápagos, 1986.

200- N. Bär, “La realidad virtual es el futuro, porque el mundo es estúpido”, *La Nación*, 19-04-1992.

201- *Toontown* en inglés. Se trata de una ciudad animada ubicada en Hollywood, donde viven los dibujos animados. Apareció por primera vez en la película de 1988 *¿Quién engañó a Roger Rabbit?*

202- A. Seth, *Your brain hallucinates your conscious reality*, disponible en: <www.ted.com/talks/nil_seth_how_your_brain_hallucinates_your_conscious_reality#t-48774>.

203- A. Seth, “The real problem”, *Aeon*, disponible en: <aeon.co/essays/the-hard-problem-of-consciousness-is-a-distraction-from-the-real-one>.

204- Lo explica en detalle en M. Sigman, *La vida secreta de la mente*, México, Debate, 2015.

CAPÍTULO 8

¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA?

Aunque sus escritos se perdieron, se sabe por múltiples referencias que Hypatia de Alejandría, una joven que vivió en el siglo IV, cuando las mujeres estaban excluidas de las actividades intelectuales, desafió su destino. Hizo extensas contribuciones a la matemática de su tiempo, (205) encontró soluciones alternativas a la *Aritmética* de Diofanto (considerado el padre del álgebra) y escribió un tratado sobre geometría en ocho tomos. Junto con su padre, un filósofo y matemático, revisó la edición de los *Elementos* de Euclides y las *Tablas astronómicas* de Ptolomeo, y produjo un *Canon de astronomía*. Y, como si todo esto fuera poco, diseñó varios instrumentos; entre ellos, un astrolabio plano (para medir la posición de las estrellas, los planetas y el Sol), un aparato para la destilación del agua, un hidroscoPIO para medir su nivel, y un hidrómetro graduado de latón para determinar el peso específico de los líquidos. Por último, se cree que inventó el aerómetro, que se usa para medir las propiedades físicas del aire y otros gases. (206)

Dicen que De Gauss, llamado *el príncipe de la matemática*, a los 5 años dejó sin habla a su maestro cuando descubrió una fórmula para obtener la suma de todos los enteros entre 1 y 100, que da 5050. Solo, en lugar de sumarlos individualmente, se había dado cuenta de que había cincuenta pares de números que sumaban 101:

$$1 + 100, 2 + 99 \dots 50 + 51$$

por lo tanto,

$$50 \times 101 = 5050$$

Cuentan que Mozart empezó a tocar “de oído” a los 3 años, que a los 4 sabía si su violín estaba desafinado un cuarto de tono y que a los 8 podía tocar en el piano complicadas partituras a primera lectura. Empezó a componer a los 5 y muy pronto podía ejecutar de memoria piezas que no había oído más que una vez e improvisar sobre un tema sin repetirse jamás. Eso, al menos, fue lo que dejaron escrito sus asombrados contemporáneos.

Thomas Alva Edison también fue un talento precoz, aunque al parecer tuvo dificultades de aprendizaje y hasta pudo haber padecido dislexia. Sin embargo, nada de esto fue obstáculo para que obtuviera mil noventa y tres patentes por sus inventos, que incluyen desde el fonógrafo hasta la lamparita eléctrica.

Einstein, considerado una de las mentes más brillantes de la historia, tardó en aprender a hablar y desarrolló un carácter lo suficientemente extraño como para que la criada lo llamara *der Depperte* (el atontado), mientras que otros miembros de la familia llegaron a calificarlo de “casi retrasado”. (207) Uno de sus maestros incluso declaró que nunca llegaría a nada. Sus revolucionarias ideas surgieron de “experimentos mentales”. “Rara vez pienso en palabras –le diría más tarde a un psicólogo–. Me viene una idea y puede que trate de expresarla en palabras después.”

Todos ellos, junto a una larga lista de nombres asociados con los logros más notables de la humanidad, expresan de manera brillante “algo” que de alguna manera todos intuimos poseer: la habilidad que permite resolver problemas, una aptitud para encontrar caminos nunca antes transitados. A ese “algo” que nos deslumbra y nos intriga lo denominamos *inteligencia* (o “talento”) pero, en cuanto intentamos precisar su naturaleza, notamos que resulta inasible. Y no solo a nosotros; científicos de todo el mundo sucumben a la dificultad de definir y entender, de manera cabal, qué es la inteligencia.

“Hay más de quince o dieciséis definiciones de inteligencia –contesta, ante mi pregunta, Sebastián Lipina, director de la Unidad de Neurobiología Aplicada del Cemic e investigador del Conicet–. En algunos textos encontré hasta veintidós.” Para no dejar afuera ninguna de sus múltiples características, el investigador, especializado en el estudio del impacto de la pobreza en el desarrollo del cerebro, elige una fórmula extensa: es, dice, “un conjunto de competencias y capacidades de distinto orden, de dominio específico o general, en las que participan el lenguaje, las funciones ejecutivas, la metacognición y la autorregulación emocional, y que de alguna manera determina que un individuo adquiera, en intercambio con el medio y en el contexto de su desarrollo, la posibilidad de adaptarse a sus circunstancias”. Pero, consciente de que semejante amplitud puede terminar por definir muy poco, confiesa: “Yo dejé de usar el término ‘inteligencia’ hace dos décadas”.

Pocos temas provocaron tantas discusiones, llevaron a conclusiones más controversiales y desorientaron de tal manera a los científicos como el estudio de la inteligencia humana. A tal punto que, para el neurofisiólogo

estadounidense William H. Calvin, nunca habrá acuerdo sobre una definición de inteligencia porque es un vocablo “abierto”: “Piaget solía decir que la inteligencia es lo que utilizamos cuando no sabemos qué hacer –afirma Calvin–. Si a uno se le da bien lo de encontrar la respuesta adecuada a las preguntas de múltiples opciones que plantea la vida, se dice que es *listo*. Pero ser *inteligente* implica algo más: un aspecto creativo, que permite inventar algo nuevo ‘al vuelo’”. (208)

El uso más clásico del concepto de inteligencia la asocia con la capacidad de generar información nueva y articular de forma diferente lo que ya se sabía. Pero, incluso partiendo de esta definición tan básica, para algunos la palabra *inteligencia* tiene más inconvenientes que virtudes. “Hay dos grandes problemas –me indica Agustín Ibáñez, director del Instituto de Neurociencia Cognitiva y Traslacional (Incyt) del Instituto de Neurología Cognitiva (Ineco), la Fundación Favaloro y el Conicet–. Uno es que, si bien explícitamente se la suele vincular con el coeficiente intelectual, la capacidad de resolver problemas (la llamada ‘inteligencia fluida’), es un concepto que puede aplicarse a cualquier cosa: a ser creativo, exitoso, a desempeñarse bien en ciertos contextos. Y la definición más laxa, que es esta capacidad de resolver problemas usando información de una forma novedosa, es también un eslogan que no captura la real dimensión del problema. El otro punto es que, cuando uno habla de inteligencia, se refiere a un conjunto de capacidades muy amplio; es casi como si hablara de la mente. En mi opinión, es un concepto que genera más problemas que soluciones. ¿Qué ganamos construyendo estas nociones que engloban muchos subprocesos? ¿Construimos sentido? Tal vez. Pero, cuando queremos hacer predicciones concretas, la inteligencia debe descomponerse en subprocesos (o, al menos, va a depender de ellos).”

La abstracción de la inteligencia como entidad singular, la búsqueda de su localización en el cerebro y de la forma de representarla mediante un número único que permitiera clasificar a las personas en una escala de méritos signó buena parte de los esfuerzos de la psicología de los últimos dos siglos. El proceso que llevó por ese camino a esa disciplina fue ampliamente documentado por el paleontólogo Stephen Jay Gould en un libro ya clásico, pero también criticado, (209) *La falsa medida del hombre*. (210) Primero, dice Gould, se reconoció la importancia de ese talento; luego surgió el deseo de caracterizarlo y definirlo (“en parte para poder establecer las divisiones y distinciones entre las personas que nuestros sistemas político y cultural nos dictan”, afirma). Se bautizó con la palabra *inteligencia* a ese conjunto de

capacidades humanas prodigiosamente complejo y multifacético, y finalmente se lo *reificó* (se convirtió un concepto abstracto en una “cosa”). Así, la inteligencia alcanzó su estatus de elemento unitario pasible de ser representado por un número objetivo para cada persona y fue posible establecer *rankings*. Sugestivamente, a lo largo de la historia, estas escalas llevaron a concluir que los grupos menos favorecidos (como las mujeres, los negros, los indígenas o los pobres) eran innatamente inferiores y merecían ocupar esa posición, dice Gould.

Los intentos por “cuantificar” la inteligencia se iniciaron en el siglo XIX con las mediciones físicas de cráneos, tanto desde afuera (mediante regla y calibrador, y creando varios índices y proporciones sobre las formas y tamaños de la cabeza), como desde adentro (usando semillas de mostaza o perdigones de plomo para llenar el cráneo y calcular el volumen de la caja craneal una vez que la persona hubiese muerto). Tal vez el más notorio fue el de Francis Galton, primo de Charles Darwin. Galton estaba convencido de que si se ponía suficiente empeño y se tenía algo de creatividad todo podía medirse, y de que la medición constituía el criterio fundamental del trabajo científico. ¡Hasta llegó a proponer y empezó a realizar un estudio estadístico sobre la eficacia de la plegaria! (211) También propuso cuantificar el aburrimiento: “Muchos procesos mentales admiten una medición aproximada – escribió–. Por ejemplo, el grado en que se aburren las personas puede medirse por la cantidad de ‘movimientos de inquietud’ que realizan. En más de una ocasión he aplicado este método durante las reuniones de la Royal Geographical Society, pues incluso allí llegan a leerse memorias bastante tediosas”. Nieto del médico Erasmus Darwin y miembro de una acomodada familia de banqueros de Birmingham, en Inglaterra recibió una educación exquisita orientada a convertirlo en médico. Sin embargo, ya desde muy joven mostró un interés por la matemática y la medición que sería el origen de su mayor legado científico: el desarrollo de la bioestadística como base para los estudios de la herencia, la genética humana y la antropología. Viajó mucho por el mundo y se dedicó a la geografía y a la meteorología. Pero luego de cumplir los 40 años, y tras una serie de disputas con los miembros de la Sociedad Geográfica y de soportar críticas a su trabajo como meteorólogo, se zambulló en las ideas de su primo y decidió ir más allá: planteó la aplicación de las teorías de selección natural a la mejora de la especie humana, una técnica que llamaría *eugenesia*. Para esto, puso a punto una serie de herramientas estadísticas mediante las cuales identificó los tipos de seres humanos más y

menos “deseables” de acuerdo con los criterios de la Inglaterra victoriana y puritana de su época. La idea era fomentar la procreación entre los individuos que mejoraran la raza (eugenesia positiva) y evitar la proliferación de los individuos indeseables (eugenesia negativa). Galton llegó a instalar un laboratorio antropométrico costado de su propio bolsillo en la Exposición Internacional de Salud de 1884, en Londres, donde, por tres peniques, las personas se sometían a mediciones de sus sentidos, su altura y su peso, y, al final, recibían su “valoración”. En 1883, postuló un plan para intervenir en la selección y, de ese modo, acelerar el “perfeccionamiento” de los humanos. Según él, “la cría selectiva de los más fuertes e inteligentes, de los más ‘aptos’, (212) podría conseguir en solo unos decenios lo que la naturaleza intentó hacer durante una eternidad”. Galton creía que el genio está cifrado en los genes y se preocupó por desarrollar una tecnología que permitiera manipular esa herencia. Es más, “aconsejó criar selectivamente a los fuertes, prohibir los matrimonios ‘inadecuados’ y registrar los mejores rasgos de las ‘mejores’ familias en un libro genealógico para que hombres y mujeres fueran seleccionados de allí para producir la mejor descendencia”. (213) En esta misma línea, el reconocido escritor H. G. Wells propuso eliminar a los débiles ya que, explicaba, la posibilidad de mejorar “la raza humana” residía en “la esterilización del fracaso y no en la selección del éxito”.

A pesar de que, vistas desde hoy, sus ideas son repudiables, *sir* Francis Galton fue considerado uno de los intelectos más brillantes de su tiempo (de hecho, la Corona inglesa lo nombró *sir*). Lewis Madison Terman, que más tarde introdujo los tests de cociente intelectual (CI) en los Estados Unidos (un prominente defensor de la eugenesia, miembro de la Human Betterment Foundation y presidente de la Asociación Estadounidense de Psicología), calculó el CI de Galton en 200, mientras que a Darwin solo le asignó 135 y a Copérnico entre 100 y 110. (214)

**POCOS TEMAS PROVOCARON TANTAS DISCUSIONES,
LLEVARON A CONCLUSIONES MÁS CONTROVERSIALES Y
DESORIENTARON DE TAL MANERA A LOS CIENTÍFICOS
COMO EL ESTUDIO DE LA INTELIGENCIA HUMANA.**

Por esos días, la idea de la cuantificación se difundió a tal punto que fueron

pocos los que se animaron a manifestar una visión diferente. Cuando en 1861 el neuroanatomista y zoólogo francés Louis Pierre Gratiolet osó poner en tela de juicio la creencia de Paul Broca (médico, anatomista y antropólogo francés que descubrió el área del cerebro que controla la producción del lenguaje y que hoy lleva su nombre) de que el tamaño del cerebro guarda relación con el grado de inteligencia, recibió una andanada de ataques. Broca acusó a todos los que no compartían su visión de haber dejado que la *esperanza ética* o el *sueño político* enturbiaran su juicio y distorsionasen la verdad objetiva.

En el siglo XX la búsqueda de una respuesta para la pregunta acerca de qué es la inteligencia dejó de lado los cráneos y buscó una forma de medir directamente el *contenido* del cerebro. Así nacieron los tests de inteligencia. El que hizo la transición de los huesos a la función fue Alfred Binet, director del Laboratorio de Psicología de la Sorbona. Primero se abocó a calcular la inteligencia con el tradicional método de la medición de cráneos. Pero se llevó una sorpresa cuando, en estudios sobre las cabezas de chicos de varias escuelas, si bien encontró diferencias entre los más avanzados y los que tenían más dificultades para cumplir con el programa escolar, estas resultaron demasiado pequeñas como para considerarlas significativas: eran milimétricas. Y, peor aún, algunos resultados favorecían a los estudiantes considerados más torpes por sus docentes.

En 1904, el ministro de Educación le encargó que desarrollara técnicas que permitieran identificar a los chicos que podrían necesitar algún tipo de educación especial. Fue entonces cuando Binet decidió seleccionar una serie de tareas relacionadas con problemas cotidianos que, supuestamente, entrañaban ciertos procedimientos racionales básicos, como la “dirección” (ordenamiento), la “comprensión”, la “invención” y la “crítica” (corrección). En especial, se preocupó por no medir habilidades aprendidas, como la lectura y la escritura, y pensó que, al mezclar diferentes aptitudes, podría extraer un número que expresaría la potencialidad global individual. Antes de su muerte, en 1911, publicó tres versiones de su escala. La edición original ordenaba las tareas según un criterio de dificultad creciente. En la versión de 1908 decidió atribuir a cada tarea una edad determinada, definida como aquella en la que un chico de inteligencia “normal” era capaz de realizar por primera vez con éxito cierta tarea. Su “edad mental” venía dada por la correspondiente a las últimas tareas que había podido realizar y su nivel intelectual general se calculaba restándole a la edad cronológica la mental:

EDAD CRONOLÓGICA - EDAD MENTAL
=
NIVEL INTELECTUAL GENERAL

En 1912, el psicólogo alemán William Stern sostuvo que la edad mental debía dividirse por la edad cronológica, y así nació el CI.

“El positivismo abordó el problema de la inteligencia a partir del pobre Binet, que tuvo una intención excelente, que era nivelar a los chicos –explica Lipina–. Él quería evaluarlos para ver quién necesitaba qué aspectos de sus competencias de aprendizaje. Después, se difundió de la mano de los clínicos y otros que quisieron ‘ranquear’ a la gente, una idea muy asociada con la de ‘retardo mental’. Hoy, la categoría de retardo mental fue eliminada incluso de los diagnósticos cuando se la utiliza solo sobre la base del CI.”

El objetivo de Binet nunca fue definir la inteligencia; de hecho la consideraba demasiado compleja como para poder captarla en un solo número. Es decir, que el CI era una guía empírica pragmática con una finalidad limitada. “En rigor, la escala no permite medir la inteligencia –dijo–, porque las cualidades intelectuales no pueden superponerse y, por tanto, es imposible medirlas como se miden las superficies lineales.” Su reticencia también obedecía a un motivo social, lo que hoy llamaríamos una *visión inclusiva*: temía que el resultado de sus tests se usara como excusa para desprenderse de los niños que causaran problemas o tuvieran dificultad para alcanzar el rendimiento medio, tomado como “normal”. Pero sus advertencias fueron mayormente desoídas.

Entre los que trabajaron sobre este problema más o menos por la misma época estuvo el destacado psicólogo y estadístico británico Charles Spearman. Al estudiar las correlaciones entre los tests mentales, Spearman observó que, si se aplican dos tests mentales a una gran cantidad de personas, la correlación entre ellos casi siempre resulta positiva. Esto podía deberse a un pequeño grupo de habilidades independientes o a un solo factor general subyacente. Para él, quedaba una “variación residual” constituida por la información específica de cada test, que no guardaba relación alguna con el resto. En otras palabras, cada prueba ofrecía información de tareas específicas, que denominó *s*, y también reflejaba la actividad de un único factor subyacente, que llamó *g* o *inteligencia general*. Si esto era cierto, la inteligencia podía reducirse a una única medida correspondiente al valor mental de cada persona. Publicó sus postulados en 1904 con el título de “General

intelligence', objectively determined and measured". (215)

Llamó a su teoría *bifactorial*, ya que consideraba que la inteligencia estaba integrada por:

1. un factor general (*g*), que sería hereditario (intentó probar que correspondía a una propiedad específica del cerebro, algo así como una energía mental que varía de un individuo a otro, pero se mantiene estable a través del tiempo) y
2. un factor o factores especiales (*s*), que serían habilidades puntuales para determinadas tareas y que también tendrían localizaciones particulares en el cerebro, un grupo de neuronas especializadas que intervienen en esos procesos.

Esto significaba que, si bien la inteligencia era hereditaria (por su factor *g*), también era sensible a la educación (por sus factores *s*). En su artículo, Spearman proclamó la omnipresencia de *g* en todos los procesos considerados intelectuales. Y estaba tan seguro de haber descubierto la esencia de la inteligencia que declaró que su concepto no podía ser refutado.

La posibilidad de reflejar la capacidad intelectual en un único número que permite establecer un *ranking* casi deportivo tiene un atractivo irresistible. Tal vez ese sea el secreto del éxito de Mensa, una organización internacional fundada en 1946, en Oxford, Gran Bretaña, supuestamente “con la intención de identificar personas de todo el mundo con elevado cociente intelectual y ponerlas en contacto”. Para pertenecer a este exclusivo club, abierto a individuos de cualquier religión, ideología o filiación política, solo hay que poseer un CI que esté dentro del 2% más elevado de la población mundial. Según se informa en su sitio de Internet, actualmente cuenta con ciento veinte mil miembros en entre cincuenta y cien países (la información es contradictoria). Para ser aceptado, basta con aprobar un test de CI y obtener alrededor de 140 puntos.

Marilyn vos Savant, que a los 10 años había dado pruebas de tener una capacidad mental propia de una persona de 23 y de la que se decía que poseía un CI de 228, el máximo de todos los registrados, tiene desde 1986 una columna en la revista *Parade* llamada “Ask Marilyn” en la que se invita a los lectores a preguntarle sobre las cuestiones más diversas para que ella aplique su superinteligencia. En las pruebas para la determinación del CI se proponen al sujeto diversas tareas, entre ellas, las de completar series de palabras, de

números o de formas geométricas, o imaginarse la forma que tendrá una hoja de papel tras doblarla varias veces. Pero algunas de las preguntas que le envían a Marilyn no parecen vinculadas con los temas para los que se suele creer que se requieren poderes mentales particularmente eficaces; por ejemplo, ¿qué diferencia hay entre amor y encaprichamiento? (216) (Una pregunta digna de este libro.)

Entonces, ¿qué significa exactamente ser inteligente? Resulta obvio que es algo más que lo que registran los tests. En 1994, el libro del psicólogo y sociólogo Richard Herrnstein y del politólogo Charles Murray, *The bell curve. Intelligence and class structure in American life*, (217) en el que analizan la importancia de la inteligencia en la sociedad estadounidense y la vinculan con el ascenso social, desencadenó un debate feroz sobre el significado de los tests y la naturaleza de la inteligencia. La controversia, que ocupó un espacio abundante en diarios y revistas, inspiró una revisión del tema por parte de Asociación Psicológica Estadounidense (APA, por según su sigla en inglés). “Desafortunadamente, esas afirmaciones [las que se esgrimieron en el debate] a menudo revelaron malentendidos serios de lo que fue y no fue demostrado por la investigación científica –afirma el informe–. Aunque ahora se sabe mucho, los problemas siguen siendo complejos y en muchos casos aún no se resolvieron. Otro aspecto desafortunado fue que muchos participantes hicieron pocos esfuerzos por distinguir los problemas científicos de los políticos. Los resultados de la investigación a menudo se evaluaron no tanto por sus méritos o su posición científica sino por sus supuestas implicancias políticas. En tal clima, quienes desean hacer sus propios juicios encuentran difícil saber en qué creer.” (218)

Parte del veredicto de esa comisión especial fue que las personas difieren entre sí en su capacidad para comprender ideas complejas, adaptarse de manera efectiva al entorno, aprender de la experiencia, participar en diversas formas de razonamiento y superar obstáculos. Aunque estas diferencias individuales pueden ser sustanciales, nunca son del todo consistentes: el rendimiento intelectual de una persona determinada variará en diferentes ocasiones, en distintos dominios y en relación con diversos criterios. Las diferentes ideas de inteligencia son intentos por aclarar y organizar este complejo conjunto de fenómenos y ninguna logra el acuerdo general. De hecho, cuando a dos docenas de prominentes teóricos se les pidió que la definieran, se obtuvieron... dos docenas de definiciones. (219)

Entre las diferentes teorías que concitaron interés está la del psicólogo y

profesor de la Universidad de Harvard Howard Gardner, propuesta en 1983 con el nombre de *inteligencias múltiples*, que en 2011 le valió el premio Príncipe de Asturias de Ciencias Sociales. En su primera formulación, Gardner planteó la existencia de varias inteligencias, entre las que incluía no solo las facultades lingüística y lógico-matemática, sino también otras, como la musical y la orientación espacial. Estos talentos, sostiene, no siempre se ponen de manifiesto en las pruebas con papel y lápiz. “El concepto ortodoxo de una inteligencia única, que goza de gran aceptación a pesar de ser incorrecto –afirma Gardner–, (220) surgió de los esfuerzos de un reducido número de investigadores que formularon sus preceptos fundamentales en los primeros años del siglo pasado. Junto con las ideas básicas, se defiende también la de que los individuos nacen con una determinada inteligencia, la inteligencia potencial; que tal inteligencia es difícil de cambiar y que los psicólogos pueden medirla mediante cuestionarios concisos y con otros métodos más puros, como el tiempo de reacción ante una secuencia de destellos luminosos o la presencia de un determinado patrón de ondas cerebrales. Después de que se propusiera, los psicólogos cuestionaron la noción de una inteligencia única, ya que, según sus análisis, habría que considerarla más bien como un conjunto de varios factores. Louis L. Thurstone (221) afirmó en los años treinta que tenía más sentido pensar en siete ‘vectores de la mente’, en buena medida independientes entre sí. Joy P. Guilford, (222) enunció no menos de 120 factores en los años sesenta, que posteriormente fueron aumentados a 150. El investigador escocés Godfrey Thomson (223) había postulado previamente la existencia de un gran número de facultades poco vinculadas unas con otras. Y actualmente Robert J. Sternberg, psicólogo de la Universidad de Yale, propone una teoría trifactorial del intelecto, constituida por un componente relacionado con las capacidades normales de cálculo, otro sensible a los factores del contexto y un tercero vinculado a lo novedoso. Resulta sorprendente que todos ellos, estén o no a favor de la idea de una inteligencia única, compartan una convicción común. Todos creen que la naturaleza de la inteligencia puede determinarse por medio de la obtención y análisis de datos.”

Gardner extrajo sus conclusiones de sus trabajos con un grupo de niños dotados para una o más habilidades y otro de adultos que habían sufrido una apoplejía que había afectado alguna de sus facultades. En ellos, observó cómo coexistían capacidades intactas con falencias, lo que nutrió su convicción de que los seres humanos poseen varias facultades relativamente independientes y

no una cantidad prefijada de potencia intelectual. Examinó muchas facultades, desde las basadas en los sentidos hasta las relacionadas con la planificación, el humor o incluso la sexualidad, y definió la inteligencia o el talento como “un potencial psicobiológico para resolver problemas y para generar resultados que sean apreciados al menos en un determinado contexto cultural”. (224)

En un primer momento, llegó a la conclusión de que las inteligencias eran siete: la lingüística, la lógica-matemática, la musical, la espacial, la corporal-cinética (ejemplificada por atletas, bailarines y otros gimnastas), la interpersonal (que es la habilidad de interpretar el estado de ánimo, las motivaciones y otros estados mentales de los demás) y la intrapersonal (que es la capacidad de acceder a los propios sentimientos y utilizarlos para guiar el comportamiento). Estos dos últimos talentos suelen considerarse como la base conjunta de la inteligencia emocional. En 1995, agregó una octava inteligencia, la del naturalista, que permite reconocer y categorizar los objetos naturales. Luego, consideró la posibilidad de una novena, la existencial, representativa de la inclinación humana a formular preguntas fundamentales sobre la existencia, la vida, la muerte y la finitud, y a meditar sobre ellas.

La teoría de las inteligencias múltiples se basa en dos afirmaciones fundamentales. Una es que todos los seres humanos las poseemos; la segunda se refiere al hecho de que, de la misma manera que todos tenemos diferentes apariencias, personalidades y temperamentos, también tenemos diferentes perfiles intelectuales. Sus críticos destacan que “la estabilidad y validez de las pruebas de rendimiento en estos nuevos dominios aún no se demostró de manera concluyente”. (225)

Sternberg propuso una hipótesis alternativa. Su teoría triárquica afirma que la inteligencia tiene tres facetas, la analítica, la creativa y la práctica, de las cuales solo la primera se mide de forma significativa con las pruebas convencionales. Su teoría fue de las primeras en adoptar un enfoque más cognitivo. Sternberg define la inteligencia como una “actividad mental dirigida hacia la adaptación intencional, selección o transformación de entornos del mundo real relevantes en la propia vida”. (226) También propuso que “la inteligencia es la capacidad de predecir resultados”.

Un problema importante de estas teorías y de los tests de inteligencia es que surgen en un entorno de laboratorio muy diferente de lo que ocurre en la vida real. Los chicos de la calle de Brasil, por ejemplo, son bastante capaces de hacer los cálculos necesarios para sobrevivir en su negocio callejero a

pesar de tener malos rendimientos en la escuela. (227) Del mismo modo, un grupo de mujeres californianas que no tuvo dificultades para comparar los valores de los productos en el supermercado no logró realizar las mismas operaciones matemáticas en las pruebas de lápiz y papel. (228) Otro estudio, realizado a treinta hombres asiduos seguidores de las carreras de caballos, (229) encontró que aplicaban en sus apuestas un método altamente complejo con hasta siete variables, pero esta capacidad tampoco se reflejaba en las pruebas de inteligencia.

Por otro lado, tal como señalan Neisser, Boodoo y sus colegas, cada cultura tiene su concepto de inteligencia y es complicado compararlas. “El inglés no es el único que tiene muchas palabras para diferentes aspectos de la capacidad intelectual y las habilidades cognitivas (sabio, sensato, inteligente, listo, brillante, astuto, etc.) –afirman–; si otro idioma tiene la misma cantidad, ¿cuál de ellos diremos que corresponde al ‘concepto de inteligencia’ de sus hablantes? Los pocos intentos de examinar directamente este tema descubrieron que, incluso dentro de una sociedad determinada, se valoran diferentes características cognitivas entre una situación y otra, o una subcultura y otra. Estas diferencias se aplican no solo a las concepciones de inteligencia, sino también a lo que se considera adaptativo o apropiado en un sentido más amplio.”

En un estudio realizado en San José, California, les preguntaron a padres inmigrantes de Camboya, México, Filipinas y Vietnam, así como a anglosajones y mexicanos nacidos en los Estados Unidos, sus concepciones acerca de la crianza de los hijos, de la enseñanza apropiada y de la inteligencia infantil. (230) Excepto los angloestadounidenses, todos indicaron que características como la motivación, las habilidades sociales y las habilidades prácticas eran tan importantes o más que las aptitudes cognitivas para su concepción de “chico inteligente”.

En otro trabajo, la etnolingüista de la Universidad de Stanford Shirley Brice Heath mostró que coexisten diferentes concepciones de inteligencia en dos grupos étnicos de Carolina del Norte (231) que no están representadas en forma equivalente en las pruebas psicométricas. Y cuando se les pidió a chicos de Zambia y del Reino Unido que reprodujeran patrones en tres materiales diferentes (alambre, arcilla o lápiz y papel), los de Zambia tuvieron muy buenos puntajes utilizando alambre, material con el que estaban familiarizados, mientras que los ingleses eran mejores con el lápiz y papel. Ambos mostraban destrezas similares cuando se trataba de trabajar con

arcilla. (232)

El psicólogo ruso Lev Vygotski justamente pone un acento especial en la importancia del entorno para el desarrollo de la inteligencia. Argumenta que, así como el lenguaje y el pensamiento aparecen por primera vez en las interacciones con los padres, y continúan desarrollándose a través del contacto con otras personas, todas las habilidades intelectuales tienen un origen social. Para Vygotski, las pruebas de inteligencia tradicionales ignoran el nivel de rendimiento que un niño podría alcanzar con la ayuda adecuada de un adulto que lo apoye. “Las pruebas lógico-matemáticas fueron cuestionadas sobre todo desde los ochenta por esta incapacidad de considerar lo contextual y los componentes culturales –me explica Lipina–. En un conjunto multidimensional complejo de componentes de procesamiento cognitivo, no existe un pensamiento o un procesamiento emocional en el vacío, siempre se dan en un contexto. Esto significa que hay que considerar la familia, lo social y la cultura (el sistema de normas, valores y creencias). Son competencias emocionales, de autorregulación, que le dan al individuo la capacidad de adaptarse a un medio. El medio es la sociedad, el aula, la cultura, el colectivo.”

En su ensayo “The creative self”, (233) Oliver Sacks aporta interesantes apuntes sobre la creatividad, uno de los componentes de la inteligencia. Al contrario de la difundida imagen del genio solitario que recibe un repentino golpe de inspiración, la atribuye a una compleja red de influencias e inspiraciones sin las cuales no podría darse el nacimiento de algo significativo. Más aún, le otorga un papel esencial a la imitación, cuando se suma a una audacia o subversión especial para encarar nuevos rumbos o direcciones. “La creatividad –dice Sacks– implica no solo años de preparación consciente y entrenamiento, sino también preparación inconsciente. Este período de incubación es esencial para permitir la asimilación y la incorporación de las propias influencias y fuentes, para reorganizarlas y sintetizarlas en algo propio.” Y subraya que, para que se dé cualquier avance creativo, son indispensables tres elementos esenciales: el tiempo, el “olvido” y la incubación.

Así como Mark Twain –entre muchos otros– declaró que “sustancialmente todas las ideas son de segunda mano”, Sacks sostiene que todos nosotros tomamos prestado de otros, de la cultura que nos rodea. Algo similar podría decirse de la inteligencia: se construye a partir de los estímulos de nuestro entorno y de la interacción con otros.

En la búsqueda de una explicación definitiva, algunos investigadores recurren al estudio de su sustrato biológico. Este impulso llevó a que, en la madrugada del 18 de abril de 1955, el patólogo de guardia del Hospital de Princeton, Thomas Harvey, se apropiara del cerebro de Einstein, uno de los científicos más singulares y extraordinarios de la historia. Lo diseccionó en doscientas cuarenta piezas y creó doce juegos de doscientas diapositivas con muestras de tejido indexadas que envió a algunos investigadores. Luego dividió las piezas en dos jarras y se las llevó a su casa para almacenarlas en el sótano. Los que respondieron al patólogo encontraron que el cerebro no era muy diferente del del resto de los mortales. (Un dato llamativo es que su peso era de unos 1230 gramos, el límite inferior del rango considerado normal para los hombres de la edad del físico.) (234)

A pesar de la falta de resultados positivos, desde entonces se viene sugiriendo que las diferencias de inteligencia podrían estar dadas por la anatomía y la fisiología cerebral: la arborización de las neuronas corticales (el número de conexiones con sus vecinas en la corteza cerebral), el metabolismo de la glucosa, la actividad eléctrica neuronal, el tamaño de la corteza frontal y sus conexiones, entre otros elementos. Estudios recientes encontraron que los puntajes obtenidos en las pruebas muestran cierta correlación con la velocidad de procesamiento de la información, pero el significado de esas asociaciones dista de ser claro.

Hasta ahora, no existía evidencia directa que vinculara las propiedades estructurales y fisiológicas de las neuronas con la inteligencia humana. Pero, en abril de 2018, un equipo de la Universidad Libre de Ámsterdam encontró por primera vez, en un experimento in vitro, que esta podría estar asociada con la complejidad neuronal y la transferencia de información eficiente de las neuronas de la corteza cerebral. (235) Según este estudio, cuanto más grandes y más rápidas sean las neuronas de alguien, mayor será su CI. O, dicho de otro modo, las personas inteligentes tendrían células cerebrales más grandes y mejor conectadas, lo que les permitiría procesar más información a un ritmo más rápido. Para probarlo, los científicos les hicieron una prueba de CI a treinta y cinco individuos que debían someterse a una cirugía cerebral. Durante la operación, los cirujanos tomaron una pequeña muestra de tejido sano de su lóbulo temporal y mantuvieron este pedacito de cerebro vivo para estudiarlo en el laboratorio. Al comparar el tamaño y la forma de las células cerebrales con los puntajes de CI de los voluntarios, descubrieron que las neuronas de las personas con CI más alto eran significativamente más grandes

y tenían más dendritas (las “ramitas” o extensiones cortas a través de las cuales reciben y transmiten impulsos nerviosos).

Christof Koch, director científico del Instituto Allen de Ciencias del Cerebro, en Seattle, le dijo a *New Scientist*: “Hemos sabido que existe algún vínculo entre el tamaño del cerebro y la inteligencia. Este equipo lo confirma y lo lleva al nivel de las neuronas individuales. Es un hermoso estudio”. (236) Si estos resultados se reproducen, tal vez abran un nuevo frente de investigación con interesantes perspectivas, pero hasta entonces no es más que una hipótesis. (237)

Para Lipina, hoy se concibe la inteligencia como una combinación de fortalezas y debilidades más que como una capacidad única: “No todos pueden ser matemáticos geniales, pero todos los que tienen la posibilidad de serlo tienen que ser criados de una manera específica. La clave es que somos todos distintos, que la combinación de capacidades de adaptación depende del contexto, y que hay algunas personas que son mejores en el contexto académico y otras que son mejores en otros contextos”.

Jorge Colombo, creador de la Unidad de Neurobiología Aplicada del Cemic-Conicet, a quien Harvey le dio una muestra del cerebro de Einstein, coincide: “Hay que desterrar la palabra genio. Porque todos los seres humanos tenemos algún talento. Lo que pasa es que no todos estamos condicionados de igual manera para expresar ese talento”. (238) Según el científico, hoy se sabe que el talento de cada persona depende de una multiplicidad de factores, como la herencia, la alimentación, la crianza, el enriquecimiento cognitivo y la receptividad del medio sociocultural en el que se expresa. Todo esto hace que el cerebro funcione como una serie de complejas redes de neuronas y células gliales (las que forman el tejido de sostén de las neuronas) en interacción con el ambiente. Cada sociedad impone ciertas reglas y puede sofocar talentos que no llegan a destacarse a través de la escuela o la universidad. Colombo explica que se especuló con que el cerebro de Einstein mostraba un aumento de volumen del lóbulo parietal, más cantidad de astrocitos (un tipo de células gliales), menor grosor de la corteza cerebral o el cuerpo calloso (la sustancia blanca interhemisférica). Pero todos esos hallazgos fueron cuestionados. Uno de los problemas es que se intentaron establecer relaciones causales de procesos complejos, como el desempeño cognitivo, a partir de eventos estructurales observados en un cerebro particular, añoso y fijado en formol, con lo que solo se obtuvieron resultados sesgados. (239) De alguna manera, lo sugiere la sabiduría popular: “Todos somos genios. Pero si juzgás a un pez por

su habilidad para trepar a un árbol, vivirá toda su vida pensando que es un estúpido”.

También Adolfo García, investigador del Instituto de Neurociencia Cognitiva y Traslacional (Incyt), me aconseja evitar los reduccionismos: “Con la inteligencia se comete el mismo error que en otras áreas de la ciencia: la reificación, pensar que detrás de una palabra hay una cosa, una única entidad. Es lo que pasa cuando uno dice ‘el lenguaje’, como si hubiera una única cosa, un objeto concreto al que esa palabra tiene que remitir. No es así. Si uno va a la etimología de la palabra ‘inteligencia’, que es ‘leer entre’, o si se remite a los usos cotidianos de esa palabra, cuando uno dice que ‘Riquelme era un jugador inteligente’ o que ‘Una composición de Piazzolla es muy inteligente’, o que ‘Einstein era inteligente’, se refiere a cosas muy distintas. La propuesta de inteligencias múltiples [de Gardner] de algún modo trataba de desandar el reduccionismo de concebir la inteligencia como el resultado de pruebas en dominios lógicos y lingüísticos. Pero no resolvió la cuestión, porque propuso varios tipos de inteligencias como si estuvieran escindidas unas de las otras. La inteligencia creativa, estética o musical también exige una inteligencia lógica, numérica, matemática. Del mismo modo, tener inteligencia emocional, interpersonal, implica tener inteligencia intrapersonal [...]. El error es pensar que entre todas estas definiciones hay una que es la certera. En realidad, fenómenos tan complejos tienen tantas definiciones como perspectivas. Y dado que las formas de ser inteligentes son tantas, tal vez lo que tenemos que hacer es aceptar la promiscuidad, más que tratar de buscar la definición última y verdadera”. Ibáñez va más allá: “Lo cuestionable no es si sabemos qué es la inteligencia, sino si directamente es válido pensarla. Porque básicamente no sabemos si es una aptitud, una habilidad una destreza, un rendimiento... Incluso si así fuese, depende del aprendizaje de varios otros procesos cognitivos que no son en sí mismos ‘inteligencia’, pero que la requieren para expresarse. En el fondo, el concepto de inteligencia como tal es más bien una herencia occidental, la intención de destilar un proceso cognitivo, encontrar la esencia de ‘algo’ abstracto que hace que una persona tenga muchas aptitudes. Lo que sabemos es que no hay nada que defina a alguien como ‘inteligente’ de manera clara. Hay dos caminos sin salida: o usamos ese concepto en términos genéricos, pero sabemos que es tautológico, o lo usamos con un ‘apellido’ atrás [emocional, musical, espacial], y entonces va a depender de la experticia en ciertos procesos cognitivos o afectivos particulares”.

“HAY QUE DESTERRAR LA PALABRA GENIO. PORQUE TODOS LOS SERES HUMANOS TENEMOS ALGÚN TALENTO. LO QUE PASA ES QUE NO TODOS ESTAMOS CONDICIONADOS DE IGUAL MANERA PARA EXPRESAR ESE TALENTO.”

“En buena medida –plantea García–, hay una cuestión de precisión conceptual. La palabra ‘inteligencia’ yo la pondría a la par con ‘vajilla’. Si digo: ‘Tengo que tomar la sopa, ¿puedo usar la vajilla?’ o ‘tengo que cortar la carne, ¿puedo usar la vajilla?’. Si bien sabemos que todos son vajilla, el tenedor, el cuchillo y la cuchara se usan para cosas diferentes. Tenemos todos estos conceptos, cada uno apunta a cosas levemente distintas y levemente similares, pero muchas veces nos dejamos llevar por esa macrocategoría de inteligencia como si todo tuviera que remitir a algo equiparable.”

Pero no todo es desolador. Si bien todavía no contamos con un concepto certero de qué es la inteligencia, una de las cosas que hace la ciencia es mostrar los caminos que no conviene tomar. Haber desterrado la idea de que la inteligencia puede cuantificarse tomando una o dos habilidades simbólicas, entender que el conjunto de las capacidades que la conforman no son áreas separadas y que una medición de laboratorio no necesariamente refleja lo que ocurre en el mundo real son avances que parecen orientar la búsqueda en una dirección correcta.

205- R. Domínguez Quintero, “Hypatia de Alejandría, la primera mujer astrónoma”, *El País*, 29-04-2009.

206- Su vida se relata en *Ágora*, una película del director español Alejandro Amenábar.

207- W. Isaacson, *Einstein: su vida y su universo*, Barcelona, Debate, 2013.

208- W. H. Calvin, *Cómo piensan los cerebros*, Madrid, Debate, 2001.

209- J. E. Lewis, D. DeGusta y otros, “The mismeasure of science: Stephen Jay Gould versus Samuel George Morton on skulls and bias”, *Plos Biology*, 7-06-2011. Estos autores refutan la afirmación de Gould de que el antropólogo Samuel Morton había manipulado datos y extraído conclusiones sesgadas por su marco cultural acerca de las mediciones de cráneos. Los científicos revisan las mediciones de Morton y el análisis de Gould, y llegan a la conclusión de que no fue así y de que, de hecho, el método científico permite aislarse de

las influencias culturales.

210- S. J. Gould, *La falsa medida del hombre*, Barcelona, Crítica, 2005.

211- A menos que se indique lo contrario, este y los datos que siguen sobre la historia de la medición de la inteligencia están tomados del libro de Gould.

212- Es decir, una selección no natural.

213- S. Mukherjee, *El gen: una historia personal*, Barcelona, Penguin Random House, 2017.

214- En 1926, Catherine Cox evaluó y publicó una escala de cocientes intelectuales. Le dio 185 puntos al poeta y científico Johann Wolfgang Goethe; 155 al poeta y dramaturgo Alfred Tennyson; 150 al poeta William Wordsworth, al novelista y editor Walter Scott y a Lord Byron; 125 a Abraham Lincoln, y 105 al físico y químico británico Michael Faraday.

215- C. Spearman, “‘General intelligence’, objectively determined and measured”, *The American Journal of Psychology*, 15(2): 201-292, 1904.

216- P. Yam, “La inteligencia a examen”, *Investigación y Ciencia*, nº 17, julio-septiembre de 1999.

217- R. Herrnstein y C. Murray, *The bell curve. Intelligence and class structure in American life*, Nueva York, Free Press, 1994. El libro es famoso por su tesis acerca de la relación entre raza e inteligencia. Los autores establecen que la inteligencia es unitaria y puede medirse por medio de pruebas estandarizadas, y es entre un 40% y un 80% hereditaria. Pero lo que suscitó más discusiones es que encontraron una alta correlación entre el nivel socioeconómico y el CI. Uno de los puntos más polémicos es que atribuyen diferencias de CI según los grupos étnicos: afirman que las personas de color tienen entre 15 y 18 puntos menos.

218- U. Neisser, G. Boodoo y otros, “Intelligence: knowns and unknowns”, *American Psychological Association*, 51(2): 77-101, febrero de 1996.

219- El ejercicio dio lugar a un libro de varios autores: D. Detterman y R. Sternberg (coords.), *¿Qué es la inteligencia? Enfoque actual y definición*, Madrid, Pirámide, 1992.

220- H. Gardner, “Inteligencias múltiples”, *Investigación y Ciencia*, nº 17, julio-septiembre de 1999.

221- Thurstone fue un ingeniero mecánico y psicólogo estadounidense pionero en los campos de la psicometría y la psicofísica. Es reconocido por la creación de la escala para medir actitudes que lleva su nombre.

222- Este psicólogo estadounidense creó un modelo para medir y desarrollar habilidades intelectuales y presentó un sistema taxonómico que cataloga decenas de aptitudes diferentes.

223- Godfrey Thomson fue uno de los que criticaron el factor de inteligencia general de Charles Spearman.

224- U. Neisser, G. Boodoo y otros, “Intelligence: knowns and unknowns”, ob. cit.

225- Ibíd.

226- Véase <es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_la_inteligencia>.

227- T. Nunes Carraher, D. Williams Carraher y A. Dias Schliemann, “Mathematics in the streets and in schools”, *Developmental Psychology*, marzo de 1995; disponible en: <doi.org/10.1111/j.2044-835X.1985.tb00951.x>.

228- J. Lave, *Cognition in practice: mind, mathematics, and culture in everyday life*, Cambridge, Cambridge University Press, 1988 [ed. cast.: *La cognición en la práctica*, Barcelona, Paidós, 1991].

229- S. J. Ceci y J. K. Liker, “A day at the races: a study of IQ, expertise, and cognitive complexity”, *Journal of Experimental Psychology*, 115(3): 255-266, septiembre de 1986.

230- L. Okagaki y R. J. Sternberg, “Parental beliefs and children’s school performance”, *Child Development*, 64(1), febrero de 1993.

231- S. Brice Heath, *Ways with words: language, life and work in communities and classrooms*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

232- R. Serpell, “How specific are perceptual skills? A cross-cultural study of pattern reproduction”, *British Journal of Psychology*, agosto de 1979.

233- O. Sacks, “The creative self”, en *The river of consciousness*, Nueva York, Knopf, 2017.

234- Si a mayor cerebro correspondiera mayor inteligencia, los elefantes tendrían mejores capacidades lingüísticas y habrían inventado los aviones.

235- N. A Goriounova, D. B. Heyer y otros, “Large and fast human pyramidal neurons with intelligence” (*preprint*), 6-04-2018.

236- J. Hamzelou, “Smart people literally have bigger brain cells than the rest”, *New Scientist*, 1-05-2018.

237- Cabe señalar que un mayor tamaño de la neurona y un incremento de las conexiones neuronales pueden estar presentes en varios trastornos del desarrollo y algunas condiciones genéticas.

238- V. Román, “El científico argentino que estudió el cerebro de Albert Einstein: ‘Los genios no existen, todos tenemos algún talento’”, *Infobae*, 7-05-2018.

239- J. Colombo, “A critical view of the quest for brain structural markers of Albert Einstein’s special talents (*a pot of gold under the rainbow*)”, *Brain Structure and Function*, 223(5): 2515-2518, junio de 2018.

CAPÍTULO 9

¿CÓMO ACTÚA EL EFECTO PLACEBO?

Hace un par de años, me preparaba para salir de un hotel en Washington, donde me encontraba circunstancialmente por un viaje de trabajo, cuando me sobresaltó la imagen en el espejo de una senda de ampollitas rodeadas de un halo rosado que me atravesaba el abdomen y se prolongaba hacia la espalda. Más de tres décadas de periodismo científico me permitieron caer rápidamente en la cuenta de lo que pasaba: era víctima del herpes zoster, popularmente conocido como “culebrilla”, un trastorno causado por el virus de la varicela que permanece en el organismo y puede reaparecer tras muchos años de haber sufrido la enfermedad. Después de examinarlas cuidadosamente, mi segundo paso fue abrir la computadora en busca de información. La Organización Panamericana de la Salud y el Centro del Control de Enfermedades de los Estados Unidos describían con lujo de detalles lo que estaba observando en mi propio cuerpo. Sí, tenía que ser herpes zoster. Resolví pasar por la farmacia en busca de un paliativo, pero sin éxito, porque ni poniendo en práctica mi tono más persuasivo y muchos años de inglés en la escuela logré que me vendieran un antiviral sin receta.

Hasta ahí, nada tan sorprendente. Lo singular de esta historia ocurrió al regresar a Buenos Aires y retomar mis tareas en la redacción de *La Nación*, poblada de universitarios y profesionales con títulos terciarios. Cuando mencioné el episodio a varios colegas, quedé estupefacta: la mayoría me aconsejaba una visita al curandero o curandera del barrio, aplicarme tinta china, utilizar “un piolín” u otros estrambóticos dispositivos caseros sin evidencia experimental de ninguna clase.

“Ah, eso... –me aseguró una compañera–, eso la curandera de la esquina de mi casa te lo saca en un santiamén.”

El episodio me trajo a la memoria una historia similar, pero esta vez con un eminente dermatólogo del Hospital Garrahan como protagonista. Había concurrido a consultarlo porque me inquietaba ver que uno de mis hijos

presentaba verrugas recurrentes en uno de sus deditos. No le causaban ningún problema, pero cada tanto me sobresaltaba advertir, en esa piel aterciopelada, una o dos pequeñas durezas. No había manera de domesticarlas. El especialista (que había sido nada menos que presidente de un Congreso Mundial de Dermatología realizado en Buenos Aires) me recomendó un fármaco tópico, pero con la advertencia de que en realidad no podía asegurarme que fuera a tener efecto porque, me dijo con una sonrisa, las verrugas son “muy rebeldes”. Cuando le consulté sobre la efectividad de los “remedios caseros”, como atar un hilo en el dedo afectado, frotar limón y otras estrategias igualmente disparatadas que me había sugerido algún vecino bienintencionado, me respondió: “Átele el hilo, frótele el limón... La verdad es que no sabemos por qué salen ni por qué se van”.

Anécdotas como estas nos dejan pensando sobre la esencia de la medicina, que nació a partir de un puro impulso de cuidar a los nuestros y que durante milenios consistió en una errática combinación de maniobras, gestos y pócimas prácticamente sin otro respaldo más que la intuición.

A fin de cuentas, no hay nada tan lejano ni tan cercano a nuestros actuales “académicos” como los hechiceros, brujos y sacerdotes que fueron sus precursores. “El hechicero sabía de los espíritus. Sabía de dónde venían, quién los mandaba, cómo se los podía dominar y ahuyentar –escribe Luis Seggiaro–. Algunos espíritus le temían al fuego, otros al humo o al agua, o a los ruidos. A muchos no les gustaba el sabor de ciertos brebajes. Por eso, cuando el hechicero llegaba al lado del enfermo, prendía fuego, llenaba de humo la choza, lo rociaba con agua, bailaba, hacía contorsiones, las muecas más grotescas y un ruido infernal, o le daba a beber al pobre infeliz remedios de sabores espantosos.” (240)

Lo curioso de estos episodios es que, a pesar de que eran producto del pensamiento mágico, muchas de estas extrañas recetas ayudaban a los enfermos. Aminoraban su sufrimiento sin que se pudiera explicar esa mejoría por un mecanismo bioquímico o por el efecto de lo que el desdichado aceptaba ingerir.

Todavía hoy, a pesar de siglos de estudio de la fisiología y los procesos que dan lugar a la enfermedad, a pesar del enorme cuerpo de conocimientos acumulado en todo el amplio abanico de especialidades que integran la medicina que conocemos, los médicos siguen desconcertándose por los efectos de intervenciones sin “sustancias activas” y para las cuales no existe, por lo menos por el momento, explicación científica. ¿Por qué un tratamiento

funciona en un paciente y no en otro? ¿Cómo se explica que un mal presuntamente indomable, como el dolor neuropático, desaparezca por maniobras como nadar en agua fría?

Estos casos que desconciertan están perfectamente documentados en pruebas clínicas a “doble ciego” en las que ni los investigadores ni los participantes saben si están recibiendo un fármaco en desarrollo o una pastillita de azúcar. En ellos siempre hay una parte del grupo de control que responde a los efectos de... nada: individuos que reciben una píldora o una inyección inocua y que declaran sentirse mejor o haberse librado de su dolencia.

Este hecho inexplicable tiene nombre científico: es el tan mentado *efecto placebo*. ¿Por qué y cómo funciona? He aquí una pregunta en busca de respuesta. A tal punto es un misterio que un voluminoso capítulo de la literatura científica intenta dilucidar sus mecanismos.

Hasta hace un par de décadas, se sabía muy poco acerca de los engranajes que dan lugar a esta curiosidad de la medicina. Hoy es motivo de una explosión de investigaciones, tanto en el campo de las neurociencias como en la práctica de consultorio o en el contexto de los ensayos clínicos. Científicos de diversos campos, que van de la biología molecular a la psicología y la fisiología, están tratando de entender cómo y cuándo el efecto placebo puede alterar, positiva o negativamente, los resultados de tratamientos y estrategias para desórdenes muchas veces difíciles de controlar. Es decir, cuándo y cómo nuestros pensamientos y expectativas pueden cambiar el resultado de las terapias.

Numerosas evidencias sugieren que el efecto placebo surge de un proceso neurológico complejo en el que el cerebro moldea sus propias expectativas a partir de un amplio rango de informaciones. Es lo que indican ensayos como el de Alia Crum y sus colegas del Departamento de Psicología de la Universidad de Yale. En uno de ellos, los científicos les ofrecieron el mismo licuado a dos grupos de personas. Al primero, le informaron que iban a tomar un alimento “saludable”. Al segundo, que iban a recibir una “delicia” culinaria. Los integrantes de cada uno de los grupos tuvieron reacciones fisiológicas distintas: la cantidad de grelina (una hormona producida por el estómago que estimula el apetito) secretada por aquellos a los que se les dijo que se trataba de un manjar fue tres veces menor que en el grupo de control. Como si hubieran sabido, ya antes de tomar el batido y sin que la bioquímica pueda explicarlo, que se iban a sentir deleitados.

El título del *paper* que presenta este ensayo es elocuente: “La mente y los batidos de leche. La disposición mental, y no solo los nutrientes, determinan la respuesta de grelina”. O, dicho de otra manera, lo que creemos o esperamos de algo influye en el funcionamiento de nuestro organismo.

Las conclusiones del experimento fueron publicadas en 2011 en *Health Psychology* (241) e integran la hoy vasta literatura científica de más de cinco mil trabajos dedicados a los misterios del efecto placebo, es decir, a determinar cómo las creencias y motivaciones de las personas pueden influir en su salud. *Efecto placebo*, en suma, es el nombre que se le da a la respuesta activada por nuestras expectativas frente a un determinado tratamiento. Depende tanto del contexto en el cual este se administra como de la acción específica de la droga en nuestros organismos. Hoy se sabe que está mediado por diversos factores, entre los que se incluyen el aprendizaje y la cognición social, y que involucra varios sistemas cerebrales y mediadores neuroquímicos. “Estamos viendo una nueva ciencia del placebo, una disciplina compleja que incluye un rango de enfoques experimentales”, dicen Tor Wager, neurocientífico de la Universidad de Colorado, en Boulder, y director del Laboratorio de Neurociencia Afectiva de esa universidad, y Lauren Atlas, investigadora de los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos, en una revisión de los últimos conocimientos sobre el tema. (242) Es más, ellos afirman que no hay un único efecto placebo sino muchos.

Un placebo es un tratamiento inerte (“inexistente” desde el punto de vista de la farmacopea) sin propiedades terapéuticas específicas y el efecto placebo es nuestra respuesta a esa intervención. Los placebos están hechos de muchas cosas: palabras, rituales, símbolos y significados. “De hecho, el ritual de todo acto terapéutico es un placebo en sí mismo”, dicen Wager y Atlas. Las promesas, el tono de voz o la mirada de quien nos recomienda un tratamiento pueden tener tanto peso en nuestro bienestar como un fármaco.

Cuando a un paciente se le administra un placebo, muchas veces se observan mejorías clínicas que pueden deberse a varios factores simultáneos. Existen casos en los que en realidad el beneficio se debe a un reporte sesgado del paciente o a una medición inexacta, como puede ocurrir en la evaluación de síntomas subjetivos. El beneficio terapéutico también puede deberse a una reducción de la ansiedad o a la activación de mecanismos cerebrales de recompensa (es decir, señales neuronales que promueven la liberación de los neurotransmisores responsables de sensaciones placenteras como la dopamina y la oxitocina) vinculados con las expectativas que el paciente tiene

del tratamiento.

Históricamente, uno de los objetivos principales de la investigación del efecto placebo era poder determinar los sesgos que introducen en el contexto de los ensayos clínicos: toda sustancia activa debe superar los efectos de un placebo para ser considerada efectiva para su uso terapéutico. Hoy, en cambio, en gran medida la investigación está dirigida a explorar qué pasa en el cerebro del paciente cuando espera un alivio terapéutico. Las respuestas que se encuentren en esta área de investigación alumbrarán complejos procesos neurobiológicos que sin duda tendrán implicancias en la práctica clínica.

“A pesar de su valoración inicial como una variable molesta [en los ensayos clínicos], y a la luz de hallazgos notables que van desde la demostración de que modula significativamente la respuesta a tratamientos activos en dolor, ansiedad, enfermedad de Parkinson y hasta procedimientos quirúrgicos, el efecto placebo es actualmente reconocido como un determinante poderoso de la salud en muchas enfermedades”, escriben B. Colagiuri y sus colegas. “Es más, recientes avances permitieron empezar a entender los mecanismos cerebrales que se ocultan detrás de esas reacciones y explorar sus bases genéticas”, señalan. (243)

“EL HECHICERO SABÍA DE LOS ESPÍRITUS. SABÍA DE DÓNDE VENÍAN, QUIÉN LOS MANDABA, CÓMO SE LOS PODÍA DOMINAR Y AHUYENTAR –ESCRIBE LUIS SEGGIARO–. ALGUNOS ESPÍRITUS LE TEMÍAN AL FUEGO, OTROS AL HUMO O AL AGUA, O A LOS RUIDOS. A MUCHOS NO LES GUSTABA EL SABOR DE CIERTOS BREBAJES.”

La palabra *placebo* (del verbo latino *placere*, que significa “complacer”) se usaba en la Edad Media para designar los lamentos que proferían las plañideras profesionales en los funerales. (244) Su rol fue preponderante en otros tiempos, cuando todo lo que la ciencia médica podía ofrecer eran píldoras inútiles y pociones. Rosie Mestel cuenta que la primera demostración científica sobre este misterioso mecanismo ocurrió en 1799, cuando el médico británico John Haygarth se propuso probar la efectividad de uno de los

medicamentos a la venta en esa época: unas barras de metal que prometían eliminar las enfermedades. Haygarth preparó un conjunto de barras de madera, cuyo aspecto final era el mismo que el de las de metal. Las utilizó con distintas personas y se sorprendió al descubrir que cuatro de cada cinco pacientes con reumatismo afirmaban que su dolor mejoraba tras la terapia con las barras falsas. Publicó sus hallazgos en un libro, *On the imagination as a cause and as a cure of disorders of the body* (245) [Acerca de la imaginación como causa y cura de los desórdenes del cuerpo]. Haygarth, sin embargo, no usó la palabra *placebo*, que recién apareció por primera vez en un *paper* publicado en la década del veinte en la revista *The Lancet*. Aunque hay quienes discrepan, la introducción de este vocablo en la práctica médica se atribuye a un controvertido anesthesiólogo estadounidense, Henry K. Beecher, quien al parecer lo incorporó después de observar que muchos heridos de la Primera Guerra Mundial sobrellevaban el dolor de sus heridas sin recibir morfina.

“El ‘efecto placebo’ suele ser interpretado como ausencia de efecto – afirma Daniel Flichtentrei–. Sin embargo, lo único que está ausente es el principio activo, lo que de ninguna manera implica que no se produzcan efectos. Las vías a través de las cuales es posible inducir modificaciones sobre otras personas no se limitan a los agentes farmacológicos tal como los conocemos. Ya nadie ignora que el énfasis que un médico pone en el momento de realizar una prescripción incide en la magnitud de los resultados clínicos que produce.” (246)

En 2017, cientos de científicos convergieron en los Países Bajos para participar del primer encuentro de la Sociedad Interdisciplinaria para el Estudio del Placebo. La reunión atrajo a psicólogos, psiquiatras, fisiólogos, éticistas y neurocientíficos interesados en explicar cómo funciona y en aprovechar sus potenciales beneficios para la curación. Una tarea nada sencilla porque, aunque un sinnúmero de estudios encontraron que efectivamente pueden disminuir el dolor, calmar la ansiedad y ayudar a personas que sufren de migraña, por ejemplo, pesa sobre ellos un descrédito del que es complicado desembarazarse. “Ese nombre implica algo falso, una intención de engañar”, subraya el neurocientífico Vitaly Napadow, del Hospital General de Massachusetts y de la escuela de Medicina de Harvard. “La palabra ‘placebo’ tiene una connotación negativa que está deteniendo los avances para aprovecharlos en la práctica” médica. (247)

“El problema está en la definición”, me explica Pablo Richly, director del Centro de Salud Cerebral de Quilmes. “Una parte se refiere a la variabilidad

intrínseca de lo que uno está estudiando. Supongamos que viene alguien a verme con tos, le doy una pastilla de azúcar y a los dos días está mejor. Una parte de los que mejoran no lo hacen por el placebo, sino porque es el rumbo natural de la enfermedad. Ocurre como con la danza de la lluvia: tal vez, cada diez danzas, en tres ocasiones llueve. ¡Lo que pasa es que iba a llover igual! Es lo que se conoce como ‘regresión a la media’. Uno agrupa fenómenos y le atribuye una causalidad a algo que es solamente un paquete de hechos azarosos. Sin embargo, hay un plus, que generalmente está mediado por la expectativa. Es más, según qué variables se midan, la mejoría es mayor o menor. Por ejemplo, si uno mide el efecto placebo en la mortalidad por cáncer, es casi nulo; pero si lo controla en ansiedad, el impacto es muy alto.”

Un número creciente de evidencias sugiere que las expectativas que tenemos sobre el tratamiento modifican el funcionamiento del organismo cuando lo recibimos, incluso cuando se administran drogas con principios activos.

Dos de los mecanismos medulares del efecto placebo ocupan el centro de atención de los investigadores: la expectativa y el aprendizaje. Hay expectativa de un evento consciente cuando el sujeto espera un beneficio terapéutico. El vínculo entre expectativa y mejoría clínica, por ende, es doble. En primer lugar, en ciertas circunstancias las expectativas positivas pueden reducir la ansiedad, relacionada con diferentes síntomas, tales como el dolor (ya sea aumentándolo o disminuyéndolo). La expectativa de un evento positivo, como ya dijimos, también puede activar mecanismos cerebrales de recompensa. Asimismo, la memoria parece ser crucial. (248) La expectativa y el aprendizaje no se excluyen mutuamente, dado que aprender puede conducir a un refuerzo de las expectativas o incluso a crear nuevas. Lo que no se entiende exactamente es cuándo y cómo las expectativas y el aprendizaje están involucrados en diferentes tipos de respuestas placebo. (249)

En 1950, el médico e investigador estadounidense Stewart Wolf publicó un estudio (250) sobre la farmacología de los placebos y mostró que la eficacia de los tratamientos contra las náuseas podía verse afectada por las instrucciones que los acompañaban. Otros trabajos comprobaron que, para calmar el dolor después de la cirugía dental, producía el mismo efecto administrar una preparación sin sustancia activa en presencia de una enfermera que dar analgésicos a través de una bomba endovenosa. Así de poderosa es la presencia de un profesional de la salud en cómo nos sentimos. Es más, aunque parezca increíble, el placebo actúa incluso cuando las personas que lo reciben

saben que se trata de un placebo. (251) ¿Será este el famoso caso del “calor humano”?

También se descubrió que el efecto se da hasta en las cirugías. En un trabajo sobre personas con Parkinson, una cirugía cerebral para implantar un virus que promueve la producción de dopamina (neurotransmisor presente en el cerebro que interviene en la función motora, cuya falta causa los trastornos de movimiento propios de la enfermedad) produjo mejoras en los síntomas en los pacientes tratados durante los siguientes dos años, pero el tratamiento fue considerado un fracaso porque muchas cirugías falsas tuvieron el mismo efecto. (252)

Los placebos son responsables de todo tipo de fenómenos que desafían nuestro “sentido común”. Drogas como la morfina se comportan de modo distinto según si uno sabe o no que las está recibiendo y hay opiáceos que no actúan si el paciente desconoce que los está tomando. Pero también pueden generar efectos adversos: “El efecto placebo viene con su ‘hermano malo’, que es el ‘efecto nocebo’ –me explica Richly–. Cuanto mayores son las expectativas de lo positivo, también mayores pueden ser las consecuencias de lo negativo. Es un arma de doble filo que, si bien no es riesgosa, puede causar molestias”.

Las respuestas placebo y nocebo también pueden ser adquiridas a través del aprendizaje social. La observación de efectos beneficiosos de un tratamiento o sustancia en otras personas induce respuestas analgésicas significativas que están correlacionadas con la empatía. (253) Algo interesante es que el aprendizaje social por observación produce respuestas placebo similares a aquellas inducidas por experimentar directamente el beneficio. Esto revela que el aprendizaje surgido de la experiencia de otros puede ser sumamente poderoso.

En este sentido, el efecto nocebo también puede ser “contagioso”: después de una etapa de observación, varios sujetos experimentales mostraron respuestas nocebo robustas como aumento del dolor (hiperalgesia). (254) Pacientes que participan en una prueba clínica pueden exhibir respuestas diferentes por la influencia de otros que integran el mismo test. Las expectativas negativas y los efectos nocebo se difunden muy rápido entre los individuos a través de la propagación de información negativa. Esto puede producir cambios bioquímicos que impactan negativamente en la salud y modificar la línea de base de muchos parámetros fisiológicos.

Es eso lo que se verificó, por ejemplo, en campañas de vacunación contra

el virus del papiloma humano. La mayoría de los efectos adversos reportados, como desmayos en adolescentes, se debieron principalmente a la “sugestión”. Y también se observó en estudios sobre el dolor de cabeza. (255) En un experimento, un sujeto (el “gatillo”) recibió información negativa acerca del riesgo de padecer dolor de cabeza cuando se encontrara a cientos o miles de metros sobre el nivel del mar. En una semana, esa persona diseminó esta información entre treinta y seis sujetos. Comparado con el grupo de control, el grupo nocebo mostró un aumento significativo del dolor de cabeza, de las prostaglandinas (sustancias que regulan diversas funciones, como la presión sanguínea, la coagulación, la respuesta inflamatoria y la actividad del aparato digestivo) en la saliva y de los tromboxanos (un grupo de hormonas que actúan en los procesos de coagulación y agregación plaquetaria) cuando se encontraba en esa situación. Según estos investigadores, en períodos más largos, cientos o incluso miles de sujetos podrían ser “socialmente infectados”, es decir, estar predispuestos positiva o negativamente ante las más diversas circunstancias por la influencia que les provoca la información que reciben de otros. Ese podría ser el caso de la “apatía” que sume en un estado similar al coma a cientos de niños refugiados en Suecia ante la amenaza de la deportación de sus familias a sus países de origen. Lo llaman el *síndrome de la resignación (uppgivenhetsyndrom)*. (256)

Estos resultados demuestran la importancia de la comunicación social en la diseminación de síntomas en la población. Gonzalo Casino, que, además de médico y bioestadístico, es uno de los pioneros del periodismo científico en España, docente e investigador en temas de comunicación de la ciencia lo plantea de este modo: “La influencia negativa de las expectativas sobre los efectos secundarios de una intervención médica ha sido mucho menos estudiada y tenida en cuenta, pero este efecto nocebo es tan real como el placebo y merece por tanto la misma atención por parte del médico”. (257)

En ese mismo texto, Casino ilustra algunas curiosidades: “En todos los ensayos clínicos sobre eficacia de un medicamento, siempre hay pacientes que abandonan el experimento por los efectos secundarios —escribe—. Cuando se desenmascara su identidad para analizar los resultados, resulta que algunos de estos pacientes estaban incluidos en el grupo que no había recibido el fármaco sino un placebo. Los efectos adversos que experimentaron los pacientes no pueden ser atribuidos al fármaco, porque no se les administró, ni tampoco al placebo que recibieron, porque es una sustancia inerte. Aunque son efectos reales (dolor, náuseas, pérdida de apetito, picor, problemas de sueño, etc.) hay

que considerarlos, en principio, como efectos psicogénicos, es decir inducidos consciente o inconscientemente por el cerebro. Un metaanálisis ha cuantificado que podrían ser 1 de cada 20 los pacientes que abandonan un ensayo por el efecto nocebo”.

Incluso el precio es un factor que puede influir en el tratamiento. (258) Es sabido que si el precio de un medicamento es alto se produce un efecto placebo más intenso pero, al mismo tiempo, los medicamentos más caros también parecen tener un mayor efecto nocebo.

Uno de los ingredientes del efecto placebo puede ser el condicionamiento (la asociación de patrones de comportamiento ante ciertos estímulos). En un experimento, Napadow y su equipo de la Escuela de Medicina de Harvard le administraron a un grupo de participantes pequeñas inyecciones con un alérgeno que les causaba picazón. Cuando los investigadores lo cambiaron por agua y sal, los individuos afirmaron seguir sintiendo lo mismo y, lo que es aún más notable, sus cerebros mostraban actividad similar. (259) Como dice la periodista estadounidense Laura Sanders, (260) “uno se imagina la picazón y de hecho la siente. La percepción se transforma en realidad”.

Otra de las hipótesis que podrían explicar este comportamiento es que el efecto placebo surge de un ciclo de retroinformación positiva: si uno está “seteado” para esperar algo bueno, valoriza lo bueno y pasa por alto lo malo. Una suerte de profecía autocumplida. (261) ¡Pero hasta se observó efecto placebo en animales! Karen R. Muñana, del Colegio de Veterinaria de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, (262) trató a un grupo de veintiocho perros epilépticos con placebo y veintidós mostraron una reducción (de alrededor de 26%) en la frecuencia de las convulsiones. Pero, claro, el efecto placebo también tiene sus limitaciones. Una investigación de Michael Wechsler y sus colegas (263) analizó qué ocurría en tres grupos de pacientes asmáticos: uno tratado con albuterol, otro con un placebo y el tercero con falsa acupuntura. Los tres grupos manifestaron niveles similares de bienestar, pero solo los que habían recibido la droga activa exhibieron signos visibles de mejoría en las vías aéreas.

Increíblemente, los placebos y los nocebos también influyen en el rendimiento físico. Todos los datos disponibles indican que las expectativas de un atleta sobre su propio desempeño y posibilidades constituyen un elemento importante en el resultado de sus pruebas, incluso en diferentes condiciones experimentales. (264)

En una simulación de competencia deportiva en la que los sujetos

estudiados competían entre sí en resistencia al dolor, la administración de un placebo el día del encuentro generó una tolerancia mayor al dolor en los que lo habían recibido en comparación con los que no habían tomado nada. Por otro lado, el suministro de morfina en la etapa previa y su reemplazo el día de la competencia indujo un incremento de la resistencia al dolor y un desempeño físico significativamente mayor en los sujetos tratados que en los del grupo de control. Hallazgos similares se obtuvieron con un condicionamiento sin fármacos. (265)

El mejoramiento de la *performance* después de la administración de un placebo puede tener aplicaciones prácticas, pero presenta aristas controversiales. Surgen cuestiones éticas particularmente relevantes si se busca inducir respuestas mediadas por sustancias como los opioides en competencias deportivas. ¿Sería lícito arriesgar a un atleta a la adicción para mejorar sus marcas?

También el efecto nocebo es importante en el rendimiento físico. Por ejemplo, en un protocolo que intentó estudiar el “pique” en 30 metros, se observó que los atletas alcanzaban una velocidad mayor cuando se les administraba una cápsula de placebo acompañada de instrucciones positivas. En cambio, quienes recibían la misma cápsula con instrucciones negativas tuvieron una *performance* peor. (266)

Del mismo modo, es posible influir negativamente en sujetos que realizan ejercicios de fuerza para que lleguen al máximo esfuerzo a partir de comentarios desalentadores. (267) Incluso se considera que la fatiga durante el esfuerzo físico no deriva de procesos en el músculo sino de sensaciones ilusorias y en gran parte independientes del estado biológico real del atleta en el momento en que se producen. (268) Estos hallazgos tienen profundas implicancias en las estrategias de entrenamiento físico porque las expectativas negativas pueden anular los efectos positivos del trabajo realizado durante las largas jornadas previas a la competencia.

Los placebos y las expectativas pueden también mejorar, por lo menos en parte, la *performance* cognitiva y tareas tales como el tiempo de reacción. (269) Por ejemplo, Green y sus colegas del Instituto de Investigación en Alimentos de Gran Bretaña diseñaron una prueba para investigar hasta qué punto llegaba la expectativa acerca de la capacidad de la glucosa de afectar la *performance* cognitiva. (270) Descubrieron que su administración mejora los tiempos de evocación de la memoria, pero solo en sesiones en las que los sujetos habían sido informados de que recibirían glucosa, y no, en cambio,

cuando se les dijo que recibirían aspartamo.

Otro trabajo comparó a adultos sanos a los que se les había pedido que tomaran durante dos semanas “pastillas para mejorar la cognición” (que en realidad eran placebo) con otros que no las tomaron. Cuando se les hizo un test, que consistía en pedirles que recordaran una lista de palabras, la diferencia fue significativa a favor del primer grupo, pero los propios investigadores admiten que en realidad no se sabe nada sobre los procesos biológicos que explicarían estos resultados.

Cabría preguntarse, como lo hace Wager, (271) qué diferencia los placebos de las drogas. Ambos pueden compartir vías bioquímicas, tales como el sistema opioide endógeno, el endocanabinoide o el dopaminérgico, circuitos neuronales asociados con la analgesia y el bienestar. Pero, a pesar de sus similitudes, placebos y drogas muestran muchas diferencias. (272) En general, la duración del efecto de una droga es mayor que la de un placebo. Esto se cumple tanto con los analgésicos como con los antiparkinsonianos, aunque se sabe menos de otras intervenciones terapéuticas. Cuando se administran placebos, por otro lado, se da una mayor variabilidad del efecto que tienen en los sujetos estudiados, si bien buenos “respondedores” en ocasiones reaccionan tanto a un placebo como a una droga. Estas diferencias son las que se aprovechan en el diseño de ensayos clínicos. Por ejemplo, en los placebos no hay un componente de dosis/efecto (a mayor cantidad de sustancia activa, mayor efecto) como sí lo hay en las drogas. En las pruebas clínicas sobre migraña, los pacientes que reciben un placebo frecuentemente reportan eventos adversos que corresponden a los de la medicación antimigrañosa con la cual se compara. (273) Para los investigadores, esto podría atribuirse a la expectativa que a veces se genera al leer los posibles efectos adversos descritos en el consentimiento informado que deben firmar quienes participan del estudio.

Estas desconcertantes peculiaridades hacen del efecto placebo uno de los campos más apasionantes y activos de la investigación biomédica actual. Y, aunque existe un interés creciente, una encuesta del sitio IntraMed, que fue contestada por setecientos médicos, mostró que casi el 70% de ellos lo soslaya en su práctica habitual. No es esta la postura de Flichtentrei, para quien el propio médico es en sí mismo un placebo: “Una mano que se estrecha con firmeza transmite decisión y afecto –me comenta–. Una mirada que se dirige a los ojos y no a los papeles o a las pantallas. El silencio respetuoso e interesado de la escucha atenta. En fin, una persona que hace saber al otro que

lo que a él le ocurre es importante y despierta su interés hacen de un médico un extraordinario placebo. Es un poderoso agente terapéutico, pero solemos llamarlo ‘charlatanería’. De hecho, lo que un ‘charlatán’ hace es emplear la palabra como instrumento con plena conciencia del fabuloso efecto que con ella es capaz de producir. Él conoce lo que nosotros ignoramos y valora lo que a menudo despreciamos. Siempre que se respete un marco de honestidad y no se vulneren la dignidad ni los derechos del otro, lo que legitima un procedimiento médico son sus resultados y no sus metodologías. Se trata de sumar y no de excluir”.

“Lo que a mí me llama la atención es que a los propios médicos les sorprenda el efecto placebo, que es muy anterior a la medicina científica. A mi juicio es otra prueba de los efectos perjudiciales del pensamiento reduccionista y del dualismo explícito o implícito. ¿De qué se sorprenden? ¿De que el organismo y la persona sean una unidad indisoluble situada en un contexto existencial? La sorpresa que causa el placebo/nocebo lo único que demuestra es que los médicos hemos perdido el fundamento de la medicina [que ha quedado] sepultado bajo la lava eruptiva de los datos brutos, la información desencarnada y de una racionalización tóxica.”

Este especialista cuenta que muchísimas veces, cuando asiste a una persona internada, sus familiares y amigos atan cintas rojas a las patas de la cama, pegan estampitas de santos en la cabecera, arman altares en la mesita de luz, dejan botellas con agua bendita o ramitas debajo de la almohada: “Rezan, cantan, oran, bailan –escribe–. He atendido a gitanos mientras su comunidad entera acampaba en las puertas del hospital en una vigilia de multitudes y, hasta que el paciente no era dado de alta, no se movían de allí. He aprendido la jerga de los presos y de las prostitutas. He visto a un detenido sobornar a un policía para que le consiga una estampita de Gilda, y al miserable aceptar el billete de diez pesos que escondía dentro de la media. Me he hecho el distraído mientras una madre le ‘tiraba el cuerito’ y rodeaba con una cinta amarilla el abdomen de su hijo minutos antes de entrar al quirófano con los intestinos perforados. He ingresado a la habitación de un paciente con la lentitud suficiente como para que su esposa esconda una caja con gorgojos que colocaba sobre su espalda cuando yo no la veía. He permitido el ingreso a la sala de internados a sacerdotes, curanderos, chamanes, un *Pai Umbanda* que danzó toda la noche alrededor del moribundo, y no sé cuántas cosas más. He compartido pacientes con el Gauchito Gil, con la Virgen *desatanudos*, San La Muerte, Pancho Sierra, el padre Mario, la Madre María, y otros tantos

colegas. Formamos un buen equipo y, entre todos, hacemos lo que podemos”.
(274)

**EL FILÓSOFO, ANTROPÓLOGO Y ETNÓLOGO FRANCÉS
CLAUDE LÉVI-STRAUSS SOSTENÍA QUE HABÍA QUE
CONCEBIR MAGIA Y CIENCIA COMO DOS MODOS DE
CONOCIMIENTO Y LO CIERTO ES QUE, HASTA NO HACE
TANTO, EL MÉDICO TENÍA MÁS DE MAGO QUE DE
CIENTÍFICO.**

Richly coincide en que el gran problema de las medicinas alternativas, cuya acción sería meramente la de un placebo, es que se da un peor tratamiento, o no se da tratamiento alguno, a alguien que podría recibirlo. “Esa es la parte más peligrosa de los placebos llámeselos como se los llame – dice–. Si usás solamente placebo no sos médico. ¿Qué diferencias habría con un curandero? Solamente la ceremonia que se usa. Pero la actitud, el factor humano son similares. Lo primero que uno prescribe cuando ve a un paciente es a sí mismo. La relación médico-paciente modula los efectos del tratamiento.”

Tal vez por eso suele decirse que la medicina no es una ciencia exacta y que cada caso es diferente. El filósofo, antropólogo y etnólogo francés Claude Lévi-Strauss sostenía que había que concebir magia y ciencia como dos modos de conocimiento y lo cierto es que, hasta no hace tanto, el médico tenía más de mago que de científico.

El 4 de abril de 1804, una noticia del *Semanario de Agricultura, Industria y Comercio*, titulada “De la imaginación considerada como causa y remedio de las enfermedades del cuerpo. Exemplo (275) de las tres gotas” lo ilustra a la perfección. Dice así: “Jessem Emir el Omrach, uno de los primeros empleados de la corte de Delhi, se internó cazando en un bosque inmediato hasta que cansado se sentó y durmió a la sombra de un plátano; al despertar vio cerca de sí a un anciano a quien preguntó si tenía algún refresco; respondió que sí, y le trajo una copa de agua fresca y pura. Tomóla el Emir, y al acercarla a sus labios dixo el anciano, añadiendo; la copa solo contiene bebida, pero en este pomo llevo el elixir de la salud; te has debilitado en un ejercicio violento y necesitas recuperar fuerzas. ¿Cómo debilitado? replicó el

Emir; al contrario; yo hago ejercicio para mantener mis fuerzas, en lugar de perderlas con él. La fatiga gasta las fuerzas, dixo él. En ese momento se acercaron algunos aldeanos pidiéndole las tres gotas para mitigar diversas dolencias. Esto no sedujo al joven Emir –realmente sano–, que solo aceptó la bebida. Pero pronto su poco saludable trabajo de copero –quien probaba los vinos– del Emperador Shah-Tehan lo enferma y vuelve en busca del ‘anciano de las tres gotas’, que le facilita el remedio pero le recomienda no mezclarlo con el vino. Ya mejorado, el Emir se niega a retomar su antigua profesión, por lo cual el soberano decide investigar sobre las asombrosas propiedades de las tres gotas. El geronte se resiste a revelar su secreto, pero ante la insistencia del Emperador y sus presiones cede y dice: ‘Como la intemperancia es la causa más probable del mal, la dieta deberá ser verosímilmente la que lo corrija: pero este medio es demasiado sencillo, y no causa efecto alguno sobre la imaginación, á la que es necesario dar pábulo; y este es el destino de las tres gotas misteriosas que yo doy, las cuales no son sino de agua común, y deben su virtud a la fe con las que las toman los dolientes. Todo mi saber se reduce a apartar todo lo que pueda impedir la acción de la naturaleza, y a persuadir al doliente de que se está curando’. ‘¿Cómo? ¿Y no es más que eso?’, dixo el Emperador. ‘No es más, Señor; pues mi secreto estaba tan acreditado es necesario confesar que merecía aprecio; ahora que ya no es secreto, tampoco es remedio’”. (276)

Tras enormes éxitos logrados aplicando el método científico al estudio de las enfermedades y a las terapias que se diseñan para curarlas o controlarlas, médicos e investigadores están asombrados por el poder de la persuasión y ponen la lupa sobre el todavía misterioso e inasible entramado de relaciones entre la mente y el cuerpo que se dio en llamar *efecto placebo*. Si algún día logran desentrañarlo, tal vez sean capaces de recuperar la magia que se esfuma entre guardapolvos blancos, computadoras, placas de Petri y mediciones de laboratorio.

240- L. Seggiaro, *Medicina indígena*, Buenos Aires, Eudeba, 1969.

241- A. J. Crum, W. R. Corbin y otros, “Mind over milkshakes: mindsets, not just nutrients, determine ghrelin response”, *Health Psychology*, 30(4): 424-429, julio de 2011.

242- T. D. Wager y L. Y. Atlas, “The neuroscience of placebo effects: connecting context, learning and health”, *Nature Reviews Neuroscience*, 16(7): 403-418, julio de 2015.

- 243- B. Colagiuri, L. A. Schenk y otros, "The placebo effect: from concepts to genes", *Journal of Neuroscience*, nº 307, octubre de 2015, pp.171-190.
- 244- D. Flichtentrei, "La cura no es cuestión de fe", *Revista Anfibia*, s. f.; disponible en: <www.revistaanfibia.com/ensayo/la-cura-no-cuestion-fe>.
- 245- J. Haygarth, *Literary and Philosophical Society of Bath*, 1801, disponible en: <archive.org/details/b21514859>.
- 246- D. Flichtentrei, "La cura no es cuestión de fe", ob. cit.
- 247- Cit. en L. Sanders, "Rebranding placebos", *Knowable Magazine*, 25-10-2017.
- 248- F. Benedetti, M. Lanotte y otros, "When words are painful: unraveling the mechanism of the nocebo effect", *Neuroscience*, 147(2): 260-271, marzo de 2007.
- 249- C. Büchel, S. Geuter y otros, "Placebo analgesia: a predictive coding perspective", *Neuron*, 81(6): 1223-1239, marzo de 2014.
- 250- S. Wolf, "Effects of suggestion and conditioning on the action of chemical agents in human subjects—the pharmacology of placebos", *Journal of Clinical Investigation*, 29(1): 100-109, enero de 1950.
- 251- T. Kaptchuk, E. Friedlander y otros, "Placebos without deception: a randomized controlled trial in Irritable Bowel Syndrome", *PLOS One*, 22-12-2010.
- 252- C. W. Olanow, C. G. Goetz y otros, "A double-blind controlled trial of bilateral fetal nigral transplantation in Parkinson's disease", *Annals of Neurology*, 54(3), 2003.
- 253- L. Colloca y F. Benedetti, "Placebo analgesia induced by social observational learning", *Pain*, 144(1-2): 28-34, julio de 2009.
- 254- K. Swider y P. Babel, "The effect of the sex of a model on nocebo hyperalgesia induced by social observational learning", *Pain*, 154(8): 1312-1317, agosto de 2013.
- 255- F. Benedetti, J. Durando y S. Vighetti, "Nocebo and placebo modulation of hypobaric hypoxia headache involves the cyclooxygenase-prostaglandin pathway", *Pain*, 155(5): 921-928, mayo de 2014.
- 256- R. Aviv, "The trauma of facing deportation", *The New Yorker*, 3-04-2017.
- 257- G. Casino, "El efecto nocebo en la consulta", *IntraMed*, 10-10-2017.
- 258- A. Tinnermann, S. Geuter y otros, "Interactions between brain and spinal cord mediate value effects in nocebo hyperalgesia", *Science*, 358(6359): 105-108, octubre de 2017.
- 259- V. Napadow, A. Li y otros, "The imagined itch: brain circuitry supporting nocebo-induced itch in atopic dermatitis patients", *Allergy*, 70(11), agosto de 2015.
- 260- *Ibíd.*
- 261- T. D. Wager y L. Y. Atlas, "The neuroscience of placebo effects: connecting context, learning and health", ob. cit.
- 262- *Journal of Veterinary Internal Medicine*, disponible en: <www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19912522>.

- 263- M. E. Wechsler, J. M. Keller y otros, “Active albuterol or placebo, sham acupuncture, or no intervention in asthma”, *The New England Journal of Medicine*, nº 365, 2011, pp. 119-126.
- 264- Así lo muestra el metaanálisis de M. Bérdi, F. Köteles y otros, “Placebo effects in sport and exercise: a meta-analysis”, *European Journal of Mental Health*, 6(2): 196-212, septiembre de 2010.
- 265- A. Pollo, E. Carlino y F. Benedetti, “Placebo mechanisms across different conditions: from the clinical setting to physical performance”, *Philosophical Transactions*, nº 366, 2011, pp. 1790-1798.
- 266- C. J. Beedie, “Placebo effects in competitive sport: qualitative data”, *Journal of Sports, Science and Medicine*, 6(1): 21-28, marzo de 2007.
- 267- A. Pollo, E. Carlino y otros, “Preventing motor training through nocebo suggestions”, *European Journal of Applied Physiology*, 112(11): 3893-3903, noviembre de 2012.
- 268- “¿Es el músculo o la mente? ¿Por qué se produce la fatiga?”, *IntraMed*, 7-07-2018.
- 269- C. Anderson y J. A. Horne, “Placebo response to caffeine improves reaction time performance in sleepy people”, *Hum. Psychopharmacol.*, 23(4): 333-336, junio de 2008.
- 270- M. W. Green, M. A. Taylor y otros, “Placebo expectancy effects in the relationship between glucose and cognition”, *British Journal of Nutrition*, 86(2): 173-179, agosto de 2001.
- 271- T. D. Wager y L. Y. Atlas, “The neuroscience of placebo effects: connecting context, learning and health”, ob. cit.
- 272- F. Benedetti, “Placebo effects: from the neurobiological paradigm to translational implications”, *Neuron*, disponible en: <[dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2014.10.023](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.10.023)>.
- 273- M. Amanzio, L. L. Corazzini y otros, “A systematic review of adverse events in placebo groups of anti-migraine clinical trials”, *Pain*, 146(3): 261-269, diciembre de 2009.
- 274- D. Flichtentrei, “La cura no es cuestión de fe”, ob. cit.
- 275- Respeto la grafía original.
- 276- Cit. en F. Pérgola, *Brujos y cuasi médicos en los inicios argentinos*, Buenos Aires, Edimed, 1986, pp.17-18.

CAPÍTULO 10

¿POR QUÉ DORMIMOS?

¿No es extraño que nos pasemos casi un tercio de nuestra vida durmiendo? Y no solo eso, el desconcierto crece si tenemos en cuenta que, en un lapso promedio de setenta años, dedicamos por lo menos cincuenta mil horas a soñar; es decir, dos mil días o seis años enteros (277) en los que nos encontramos paralizados, sin capacidad de reacción ni manera de defendernos contra hipotéticos ataques de predadores. En esta sociedad abierta 24/7, muchos quisiéramos disminuir el tiempo que estamos inhibidos de participar del espectáculo global (leer, escribir, estudiar, pasear..., en definitiva, ¡hacer!), pero nos es imposible librarnos de ese hábito que nos asalta puntualmente al final del día (o, a veces, en pleno día). En cualquier momento, más de mil millones de personas están durmiendo en algún lugar del planeta. ¿Por qué?

Durante la vigilia, estamos conectados con el mundo externo, atentos a todo lo que sucede a nuestro alrededor. Cuando cerramos los ojos, se abren las compuertas de la mente a un universo interno tan real como el primero y, en términos prácticos, somos totalmente improductivos. Sin duda pensando en esta aparente pasividad, un reverendo puritano muy influyente en la Nueva Inglaterra del siglo XVIII, Cotton Mather, que tuvo aciertos como promover la vacunación, pero también participó en los juicios de Salem, advirtió en uno de sus sermones de 1719 que dormir era un pecado y lamentó que las personas durmieran cuando podían estar trabajando. (278) Thomas Edison tenía una visión similar sobre esta costumbre generalizada: “El sueño es una pérdida criminal de tiempo y una herencia de nuestro pasado cavernícola”, afirmaba. (279)

Por mucho tiempo, la enigmática inutilidad del sueño desconcertaba incluso a los científicos que lo estudiaban. Robert Stickgold, director del Centro del Sueño y la Cognición del Hospital Beth Israel de Boston y profesor de la Escuela de Medicina de Harvard, suele recordar que su antiguo colaborador, J. Allan Hobson, luego devenido también en un destacado especialista en el tema, bromeaba diciendo que la única función conocida del

sueño era curar la somnolencia. (280) Pero Allan Rechtschaffen, uno de los pioneros en la investigación de este proceso fisiológico cuyos trabajos exploraron el insomnio, la narcolepsia, las siestas y la apnea (interrupción momentánea de la respiración durante el sueño), afirmó en 1978 que “si el sueño no sirviera a una función absolutamente vital, sería el mayor error cometido jamás por la evolución”. (281)

La pregunta por las funciones del sueño debe ser tan antigua como la del origen de la vida. En la mitología griega, Hipnos, el sueño, hijo de Nix (diosa de la noche) y gemelo de Tánatos (la muerte), habitaba en una cueva del inframundo. (282) Aristóteles, en *De somno et vigilia*, afirmaba que la causa del sueño era el enfriamiento del corazón. Y, durante mucho tiempo, se lo concibió como un estado de inactividad creada por el aislamiento del encéfalo (la parte del sistema nervioso que se encuentra dentro del cráneo, formada por el cerebro, el cerebelo y el bulbo raquídeo) de las demás partes del cuerpo.

**DEDICAMOS POR LO MENOS CINCUENTA MIL HORAS A
SOÑAR; ES DECIR, DOS MIL DÍAS O SEIS AÑOS ENTEROS
EN LOS QUE NOS ENCONTRAMOS PARALIZADOS, SIN
CAPACIDAD DE REACCIÓN NI MANERA DE DEFENDERNOS
CONTRA HIPOTÉTICOS ATAQUES DE PREDADORES.**

En los siglos XVIII y XIX, hubo dos escuelas de pensamiento sobre esta cuestión: una afirmaba que el sueño se producía por falta de sangre (anemia) en estos órganos y la otra, por exceso. (283) Ya en pleno siglo XX, el fisiólogo francés Raphaël Lépine y otros creyeron que durante el sueño se “desconectaban” las células nerviosas. Henri Piéron, uno de los padres de la psicología experimental que fue también uno de los pioneros del estudio científico del sueño, teorizó que el sueño es necesario para restablecer la energía y los compuestos esenciales consumidos durante el día. O, a la inversa, que durante la vigilia se producen toxinas que se van acumulando y se eliminan a la noche. La causa inmediata del sueño es, según esta hipótesis, la producción de unas moléculas, que llamó *hipnotoxinas*, que inhiben las funciones cerebrales. Para probarlo, en 1913 mantuvo a un grupo de perros despiertos durante diez días, les extrajo líquido cerebroespinal, se lo inyectó a otro perfectamente despierto y descansado, y observó que lo inducía a dormir.

El psiquiatra y neurólogo rumano Constantin von Economo, conocido por su descripción de la encefalitis letárgica en 1917, supuso que la acumulación y posterior eliminación de las toxinas son la causa del ciclo sueño-vigilia. También asumió que hay un “centro del sueño” cuya activación induce al resto del organismo.

Pero fue el trabajo de dos pioneros en la medicina del sueño, Eugene Aserinsky y Nathaniel Kleitman, en 1953, el que empezó a echar luz sobre la arquitectura del sueño y el rol de las diferentes etapas que lo componen. Estos investigadores descubrieron que su ciclo podía ser subdividido en diferentes fases o etapas de acuerdo con el movimiento ocular característico de cada una. (284)

Sin embargo, a pesar de que en las últimas décadas se acumuló mucha información sobre la fisiología y la bioquímica de este fenómeno que rige las vidas de los más diversos organismos, (285) su naturaleza sigue siendo un misterio. Pauta la existencia tanto de las moscas de la fruta como de los estudiantes angustiados por un examen inminente o de los soldados en las trincheras. Inclusive hay varios ejemplos de mamíferos marinos que duermen de una manera muy especial: continúan nadando con medio cerebro despierto y la otra mitad dormida. (286) ¿Qué puede ser tan importante como para que corramos el albur de ser devorados, y dejemos de lado cualquier cosa, hasta comer, con tal de cumplir con esa necesidad diaria? Que semejante hábito sea al mismo tiempo tan común y persistente sugiere que, cualesquiera sean sus razones, es verdaderamente crítico para la vida. No cabe duda de que dormir ofrece algo valioso, al punto de que nos lleva a ponernos en situación de riesgo una y otra vez. (287)

Si uno no cede, la presión por dormir aumenta. Hasta las medusas descansan más si son forzadas a no dormir. Esta insidiosa necesidad de la que no podemos desprendernos, y que es tan imperiosa que muchos intentan combatirla con fármacos y todo tipo de técnicas, es el tema que atrae a médicos y neurocientíficos de todo el mundo. La investigación biológica sobre la presión del sueño comenzó hace décadas. En la primera parte del siglo XX, los científicos empezaron a atisbar qué ocurre dentro del cráneo de una persona que duerme colocando electrodos en la cabeza de seres humanos. Así se presentó la primera gran sorpresa cuando descubrieron que, lejos de apagarse, mientras dormimos ciertas áreas del cerebro bullen de actividad.

Al cerrar los ojos, damos el primer paso hacia la fase 1 del sueño (llamada *NI*), la somnolencia. En ella, el cuerpo inicia una relajación muscular, la

respiración se vuelve uniforme y en el electroencefalograma (EEG) se observa una actividad cerebral más lenta que la que existe durante la vigilia. Después de unos minutos, seguimos hacia la fase 2 (denominada *N2*) en la que las ondas cerebrales se hacen un poco más lentas. Avanzamos un poco y comenzamos a despeñarnos hacia el sueño más profundo, en el que las ondas cerebrales ya son muy lentas y se necesitan fuertes estímulos acústicos o táctiles para despertar (*N3*). Es el que predomina en la primera mitad de la noche. Posteriormente, ascendemos de nuevo para entrar en una nueva situación fisiológica, la fase REM (sigla de *rapid eye movement*, “movimiento ocular rápido”). (288) Al conjunto de estas fases se lo conoce como *ciclo del sueño* y se repite una y otra vez a lo largo de la noche, hasta que, al cabo de, en promedio, unas ocho horas nos despertamos al final de un sueño REM que la mayoría de las veces no podemos recordar.

Si acumulamos una deuda de sueño, estas ondas cerebrales se modifican, un fenómeno que fue observado en un sinnúmero de criaturas, incluidos pájaros, focas, gatos, hámsteres y delfines. Hubo hámsteres dorados que, tras despertar de su período de hibernación..., ¡se pusieron a dormir una siesta! Incluso con todos los procesos del organismo ralentizados (lo que sucede durante la hibernación), la presión por dormir sigue acumulándose. (289)

“¿Es de verdad necesario dormir? En mis viajes por todo el mundo para hablar del sueño me han formulado esta pregunta infinidad de veces –cuenta Robert Stickgold–. Y mi respuesta es siempre la misma: sí, todos precisamos dormir. A semejanza del hambre, la sed o la libido, el sueño es una necesidad fisiológica. Pero la razón exacta por la que pasamos un tercio de la vida sumidos en la inconsciencia es un misterio.” (290)

Las investigaciones de los últimos veinte años están empezando a ofrecer una explicación parcial de la razón de ser del sueño. Y algo está claro: sus utilidades son innumerables. Influye en la actividad del sistema inmunitario, el correcto equilibrio hormonal, la salud mental y emocional, el aprendizaje y la memoria, y también en la eliminación de toxinas del cerebro. La pregunta, entonces, sería por qué es necesario el letargo para realizar todas esas operaciones de “puesta a punto”. Ninguna de tales funciones falla por completo si no se duerme, pero cualquiera que sufra de insomnio durante meses acabará muriendo.

EL INSOMNIO FAMILIAR FATAL PERSIGUIÓ DURANTE DOS

**SIGLOS A LA FAMILIA VENECIANA DE LA CUAL
DESCENDÍA SILVANO Y ENTRE CUYOS MIEMBROS SE
CUENTAN MÉDICOS, INGENIEROS, EMPRESARIOS Y
ACADÉMICOS. [...] ESTÁN EXHAUSTOS MÁS ALLÁ DE LO
IMAGINABLE. [...] PIERDEN LA CAPACIDAD DE CAMINAR
O MANTENER EL EQUILIBRIO, PERO TAL VEZ LO MÁS
ESCALOFRIANTE SEA QUE CONSERVAN LA HABILIDAD DE
PENSAR.**

Es lo que les ocurre a las personas que padecen un desorden muy raro, llamado *insomnio familiar fatal*. Descrito por primera vez hace treinta años, es, como su nombre lo indica, un trastorno hereditario que provoca insomnio persistente y, en última instancia, lleva a la muerte. Los pacientes duermen cada vez menos hasta que dejan de hacerlo, salvo durante breves momentos en los que sueñan o alucinan. En 1986, un equipo liderado por Elio Lugaresi y Rossella Medori, de las universidades de Bolonia y Case Western Reserve respectivamente, relató el caso de Silvano, un hombre que había perecido después de sufrir un insomnio intratable durante meses, algo que también les había ocurrido a muchos de sus familiares desde hacía generaciones. La autopsia reveló pérdida de neuronas en dos regiones del tálamo, que es una estructura cerebral del tamaño de una nuez situada en la zona central de la base del cerebro entre los dos hemisferios que suele actuar como centro de relevo de los estímulos sensoriales. (291) El caso fue tan infrecuente que llegó a la BBC y dio tema para un libro: “Silvano iba en un crucero cuando lo golpeó la maldición familiar –relata la nota periodística–. (292) Era un elegante hombre de 53 años que disfrutaba vistiendo un esmoquin siempre que podía. Le gustaba presentarse con la pose de aquellas estrellas de cine que tanto admiraba. Pero aquella noche en la pista de baile se sintió de lo más avergonzado, cuando descubrió que su camisa estaba empapada en sudor. Preocupado, se examinó en el espejo y descubrió que sus pupilas se habían reducido a dos puntitos negros. Tenía la misma mirada vidriosa que su padre y sus dos hermanas cuando empezaron a sufrir aquella misteriosa enfermedad. Sabía que era solo el principio. Después vendrían los temblores, la impotencia y el estreñimiento. Pero el síntoma más aterrador sería la desaparición del sueño, un insomnio permanente. Y esa especie de coma terminaría con la muerte. Así que Silvano acudió a la unidad del sueño de la

Universidad de Bolonia (Italia) para presentar el suyo como caso de estudio. Aunque no se hacía ilusiones con cambiar el curso de su enfermedad”.

El insomnio familiar fatal persiguió durante dos siglos a la familia veneciana de la cual descendía Silvano y entre cuyos miembros se cuentan médicos, ingenieros, empresarios y académicos. (293) Mientras que en la población general, el riesgo de desarrollar esta patología es de uno en treinta millones, en las ramas afectadas de esta familia es de uno en dos. Sus síntomas son espantosos. Además de los que relata Robson que percibió Silvano (sudor, empequeñecimiento de las pupilas, estreñimiento, impotencia, etc.), las mujeres súbitamente se vuelven menopáusicas. Quienes la padecen notan que les resulta difícil conciliar el sueño y al principio tratan de compensarlo con una siesta, pero sin éxito. Su presión sanguínea se eleva y el pulso se acelera. En los siguientes meses, intentan desesperadamente dormir, pero nunca logran alcanzar más que un leve estupor. Están exhaustos más allá de lo imaginable. Entonces, comienza una regresión trágica. Pierden la capacidad de caminar o mantener el equilibrio, pero tal vez lo más escalofriante sea que conservan la habilidad de pensar: comprenden lo que está pasando. Tras un par de meses, algunos pierden el habla y, en la fase final, entran en coma y mueren. Por lo menos treinta miembros de este grupo fallecieron de insomnio familiar fatal en el último siglo: catorce desde 1973 y siete en la última década. La enfermedad pudo rastrearse hasta mediados del siglo XVIII, y se cree que afectó a un médico veneciano que vivió cerca del gueto judío.

A principios de los noventa, en la Universidad de Bolonia se testeó a muchos de sus integrantes en busca de la causa, pero todavía no está claro cómo se produce o por qué sus estragos son tan graves. Según Giulio Tononi, cuando se analizan sus cerebros se ve que hay degeneración en ciertas zonas, pero es difícil saber si mueren por falta de sueño o por otros problemas originados por la enfermedad. “Es un misterio total”, confiesa. (294)

La prueba más tangible de la necesidad imperiosa de dormir la brinda un estudio publicado en 1989 por Carol Everson, investigadora de la Universidad de Wisconsin, y colaboradores. (295) Comprobaron que las ratas a las que se les impedía dormir morían; es más, todo lo que había que hacer para que eso ocurriera era evitar que entraran en la fase REM del sueño. Un cuarto de siglo más tarde, y después de que su hallazgo se reprodujera, se vio que la privación total de sueño es fatal, en promedio, en quince días (un lapso similar al de la muerte por inanición), que la ausencia de sueño REM causa la muerte en un tiempo similar y que la privación de sueño no REM la provoca en

alrededor de cuarenta y cinco días. (296) Pero aún se ignora por qué la gente literalmente muere de sueño. Las pruebas efectuadas solo permiten descartar que el desenlace fatal ocurre por un aumento del estrés, por un consumo excesivo de energía, o por el mal funcionamiento de los termorreguladores internos o del sistema inmunitario.

Para Daniel Cardinali, profesor emérito de la Universidad de Buenos Aires y ex director del Laboratorio de Neurociencias de la Facultad de Medicina de esa misma universidad, la pregunta por las razones del sueño está parcialmente resuelta: “Hay varias interpretaciones bastante coherentes y lógicas que por lo menos acercan una parte de la verdad a la respuesta de por qué dormimos –me explica–. Durante el sueño lento, al que dedicamos alrededor del 70% del tiempo que dormimos, el metabolismo cerebral es casi equivalente al de una anestesia superficial, o sea que hay una economía de gasto energético. El hecho de que quedemos vulnerables frente a nuestros predadores es una incongruencia que explica por qué hay gente insomne: habrían sido seleccionados evolutivamente para tener vigilias para avisar lo que está pasando. Otra interpretación es que el sueño reduce la actividad motora y se da en el momento en que merodean nuestros predadores. Es un fenómeno biológico bastante general: el animal está activo, sale, cuando el predador no está. En ese sentido, tiene su lógica. Después, hay tres o cuatro hipótesis dominantes. Está la que plantea que el sueño es fundamental para consolidar los recuerdos y la que sostiene que el sueño está para olvidar y hacer espacio en el cerebro para nuevos aprendizajes. (297) Hace unos años comenzó a demostrarse que los espacios que están alrededor de los vasos en el cerebro, que los anatomistas alemanes describieron hace mucho tiempo, llamados ‘de Virchow-Robin’, tienen un significado funcional importante porque desde allí se generaría un flujo linfático que removería proteínas y otros productos del metabolismo. Sin embargo, eso está en discusión. De lo que no hay duda es que la cantidad de proteína beta amiloide, la proteína tóxica asociada con el Alzheimer, disminuye de manera importante durante el sueño lento, como si durante el día estuviera diluida en una olla pequeña y durante la noche en otra mucho más grande. Miguel Pappolla, que investiga en la Universidad de Texas, además, lo vincula con la melatonina”. (298)

Sin embargo, otros se permiten más lugar para la duda. “La primera explicación obvia, coloquial, sería que dormimos porque tenemos que descansar –me dice Diego Golombek, cronobiólogo del Conicet y profesor titular de la Universidad Nacional de Quilmes–. Pero si uno lo piensa un poco,

no es tan así; de hecho, durante el sueño hay partes del cerebro que están mucho más activas que durante la vigilia. Y, por otro lado, en los momentos en que hacemos más ejercicio físico, la verdad es que no dormimos más. Incluso puede ser que durmamos más cuando estamos de vacaciones, cuando no hacemos nada. Así que la conclusión no es tan simple como que dormimos para recuperar fuerzas. El sueño no es simplemente apagarse, el hermano de la muerte, como decían los griegos. Tiene que haber algo más. Hay varias hipótesis, pero son eso, hipótesis.” Una de ellas es la “económica”: dado que obtenemos nuestra energía de los alimentos y es finita, no podemos destinarla permanentemente para mover músculos, salir corriendo, pensar... En algún momento hay que bajar la tasa metabólica y destinarla a otros procesos. Otra de las teorías es la que se podría llamar “restauradora”. “El cuerpo constantemente se está ‘descascarando’ –afirma Golombek– y durante el sueño se ponen en marcha muchos procesos físicos y químicos de reparación. También se crece. La hormona de crecimiento se secreta alrededor de las tres o cuatro de la madrugada, y no solo porque sea de noche, sino también porque dormimos. Esta hipótesis de la restauración está vinculada con la otra, la económica, porque mientras uno duerme no está preocupado por obtener comida, buscar novia o salir corriendo, y puede dedicar energía a reparar lo reparable.”

Una tercera hipótesis plantea que durante el día estamos bombardeados por estímulos, no podemos decidir cuáles son más importantes. Entonces, el cerebro, de manera inconsciente, tiende a procesar esos estímulos durante la noche y, en particular, todo lo que tiene que ver con la memoria y el aprendizaje. La adquisición de recuerdos se produce durante la vigilia, pero la consolidación en general requiere del sueño. Si no se duerme, tampoco se recuerda. La memoria y el aprendizaje son ejemplos muy claros de plasticidad cerebral, de cómo cambian las conexiones neuronales. La génesis de nuevas neuronas, los cambios sinápticos y de circuitos también tienden a ocurrir durante el sueño. “De hecho, algo muy notable es que la cantidad de horas que dormimos tiene que ver con la necesidad de plasticidad –dice Golombek–. Por eso los bebés duermen todo el día. Y sueñan mucho. Gran parte de ese sueño es REM; o sea, están soñando porque necesitan estar remodelando permanentemente el cerebro frente a los estímulos que reciben. Un bebé puede pasar catorce horas durmiendo porque necesita más plasticidad neuronal.”

“En principio, los mecanismos moleculares de consolidación de las memorias [que se dan durante el sueño] parecen similares a los que ocurren

cuando uno está despierto –coincide Pedro Bekinschtein, investigador del Conicet en el Instituto de Neurociencia Cognitiva y Traslacional y especialista en el estudio de la memoria, ante mi pregunta–. Una explicación de por qué la consolidación se produce durante el sueño podría ser que la memoria está menos sujeta a interferencias. Durante el día, uno está continuamente adquiriendo información; en cambio, en el sueño, está más aislado de los estímulos externos y eso hace que la consolidación ocurra de manera más ‘limpia’. También está la hipótesis de que durante el sueño olvidamos: permanecen los recuerdos más fuertes y se descartan los más débiles... pero eso se entiende aún menos.”

En 2000, Stickgold y sus colaboradores publicaron un estudio en la revista *Science* (299) que se convirtió en una de las validaciones de la función del acto de dormir y del soñar en la consolidación de la memoria. A lo largo de tres días, se hizo jugar durante siete horas a un grupo de personas al Tetris. Algunos eran totalmente novatos, otros eran expertos y un tercer grupo estaba compuesto por personas con amnesia, por lo que no podían formar nuevas memorias episódicas (los recuerdos que se refieren a sucesos autobiográficos, como momentos o lugares). Cada noche, cuando se estaban quedando dormidos, los sujetos eran despertados y se les pedía que recordaran lo mejor que pudieran qué estaban soñando. Resultó que soñaban con el jueguito electrónico. ¡Incluso los que sufrían amnesia! A la mañana siguiente, recordaban sueños de formas que caían y formaban los patrones del Tetris que habían observado el día anterior. Desde entonces, las evidencias sobre las funciones del dormir y, en particular, de los sueños, en relación con la memoria se han seguido acumulando. Algunos trabajos descubrieron que una proteína causa la destrucción de sinapsis que no son muy utilizadas y uno de los momentos en que esto puede ocurrir es cuando hay altos niveles de adenosina, es decir, mientras dormimos. En 2013, Stickgold y Walker publicaron una revisión de sus investigaciones y las de otros científicos sobre aquel estudio del Tetris. (300) En ese trabajo argumentaron que el sueño no solo es crucial para consolidar la memoria, sino que también es un mecanismo notablemente selectivo. Dado que no recordamos todo lo que nos ocurre en un día y almacenamos solo los recuerdos vinculados con emociones o que nos resultan particularmente valiosos, dormir y soñar, dicen los autores, nos ayudan a aislar y almacenar la información importante.

Otro experimento que avala este vínculo entre el sueño y la memoria fue realizado por los neurobiólogos Ullrich Wagner, Jan Born y sus colaboradores

de la Universidad de Tubinga, (301) en Alemania. Les enseñaron a un grupo de personas una tarea de matemática relativamente compleja que tenía una solución más sencilla que no fue revelada. Cuando volvieron a tomarles el test, ocho horas más tarde, durante las cuales a algunos les permitieron dormir y otros fueron obligados a mantenerse despiertos, solo un cuarto de los que permanecieron insomnes encontró la solución más rápida, mientras que el 60% de los que habían pasado ocho horas durmiendo, es decir, más del doble, logró descubrirla. “Mientras dormimos, nuestros cerebros reprocessan, aprenden y encuentran sentido a nuestras experiencias diurnas. En un sentido, piensan”, afirma Stickgold. (302)

Pero la relación entre dormir y recordar tal vez no sea tan directa como parecen indicar estos experimentos. “El sueño tiene efectos en el aprendizaje, pero son extremadamente complicados –me dijo Tononi durante una visita a Buenos Aires–. A veces el sueño ayuda a recordar, a veces no hace diferencia y a veces hace olvidar. Después de tantos experimentos, la imagen no es tan sencilla como ‘te vas a dormir y recordás mejor las cosas’. Esa noción se transformó en una suerte de mito, incluso entre los neurocientíficos. La evidencia que surge de analizar las moléculas involucradas, y literalmente contar las conexiones entre las neuronas y medir qué tan fuertes son, que es algo que nosotros hicimos, indica que aumentan durante la vigilia y disminuyen durante el sueño, y que ese cambio es de alrededor de un 20%, lo que es enorme. En el córtex cerebral hay unas ciento treinta billones de sinapsis, y si estas ‘engordan’ al estar despiertas y ‘adelgazan’ al dormir, eso nos dice algo. Los efectos en la memoria son importantes, pero sutiles. De algún modo, dormir es una forma de hacer más consistente nuestro conocimiento del mundo, en lugar de reforzar este o aquel recuerdo en particular.”

Con respecto a la salud física, también en ella el sueño juega un rol protagónico. Se encontró que sus trastornos activan marcadores celulares de inflamación que están asociados con desórdenes como la artritis y la diabetes, entre otros. En un estudio diseñado para probar su impacto en la función cardíaca, y viceversa, (303) un grupo de fisiólogos sometieron a hombres sanos, sin historia de cardiopatía, a la privación de sueño. Bastaron dos días para notar las consecuencias. Tanto su ritmo cardíaco y su presión sanguínea como los niveles de proteínas asociadas con patologías del corazón estaban elevados y estos cambios se revertían en cuanto los pacientes volvían a dormir profundamente.

Basta una noche de insomnio completo o parcial para alterar distintas

funciones corporales, como la actividad hormonal y la protección contra las infecciones. En un experimento de 2003, un pequeño grupo de estudiantes universitarios recibió la vacuna contra la hepatitis A. Cuando llegó la noche, la mitad se fue a dormir, mientras que el resto se mantuvo despierto hasta la noche siguiente. A las cuatro semanas, el grupo que había podido dormir como de costumbre presentaba valores de anticuerpos 97% más altos que los de los insomnes.

En otro trabajo, un grupo de adultos recibió las tres dosis pautadas de la vacuna contra la hepatitis B en el transcurso de seis meses. Al comparar el tiempo medio de sueño durante la semana de la primera dosis con el grado de protección conferido por los anticuerpos a partir de la segunda dosis, los investigadores vieron que los niveles de anticuerpos aumentaban un 56% con cada hora adicional de sueño. Seis meses después de la última dosis, los sujetos que en promedio habían dormido menos de seis horas diarias durante la semana de la primera aplicación eran siete veces más propensos a presentar valores de anticuerpos en la sangre tan bajos que no se los podía considerar inmunizados.

La falta de sueño, además, tiene efectos notorios en nuestro funcionamiento endócrino y, como sugiere un ensayo de Karine Spiegel, Rachel Leproult y Eve van Cauter, (304) al parecer también en la obesidad. En el estudio que idearon, se les permitió a once varones jóvenes sanos dormir solo cuatro horas por noche. Al cabo de cinco noches, su capacidad para extraer glucosa de la sangre (un proceso controlado por la insulina) había disminuido un 40%. En otro estudio, el equipo de Siegel les restringió el sueño de forma similar a doce hombres durante dos noches. Las concentraciones de grelina, la hormona estimulante del apetito, en la sangre de los voluntarios había aumentado un 28%. Al mismo tiempo, los valores de otra hormona, la leptina (que disminuye el hambre), habían descendido un 18%.

Por si todo esto fuera poco, también tendría consecuencias en nuestro estado emocional, afirma Stickgold, quien junto con el investigador de la Universidad de California Matthew P. Walker analizó la repercusión de una sola noche sin dormir en la memoria emocional. A veintiséis personas (la mitad privada de sueño la víspera de las mediciones) se les mostraron palabras positivas, negativas y neutras (como “tranquilidad”, “tristeza” o “sauce”) y, sin avisarles de antemano, más tarde se les pidió que las recordaran tras dos noches de sueño reparador. Los que venían privados de sueño antes de ver las palabras por primera vez mostraron un deterioro del

40% en la capacidad para recordarlas. Pero lo más sorprendente fue el impacto relativo del insomnio en las tres categorías de palabras: el reconocimiento de las positivas y neutras se redujo a la mitad en los que habían permanecido despiertos, mientras que su capacidad para recordar las negativas solo disminuyó un 20%. El recuerdo de las palabras negativas parecía ser, como mínimo, dos veces más vívido que el de los vocablos positivos y neutros en los voluntarios obligados a permanecer insomnes. Este resultado sugiere que, si uno no duerme, podría recordar mucho más los sucesos negativos que los positivos, lo que conduciría a una visión deprimente de nuestra vida. De hecho, en los últimos veinticinco años varios estudios llegaron a la conclusión de que no dormir bien, en ciertas circunstancias, provoca una depresión lo bastante grave como para ser diagnosticada como depresión mayor.

“Dormir es como comer o tener sexo –afirma Tononi–. La cuestión es: ¿se parece más a comer o a tener sexo? Si es más como comer, uno absolutamente tiene que hacerlo; si es más como el sexo, uno puede abstenerse. Por el momento, parece que es más como comer, porque si uno no duerme, se muere. Las abuelas dicen que uno debería comer saludable y moderadamente. Eso se aplica también al sueño. De hecho, si uno mira los datos estadísticos, demasiado sueño y demasiado poco sueño están asociados con más alta mortalidad y más enfermedad, aunque siempre es difícil saber cuál es la causa y cuál la consecuencia.” (305)

La importancia del sueño para la función mental es múltiple. Además de su influencia en la memoria y el aprendizaje, sería una especie de “sistema de mantenimiento” que nos ayuda a conservarnos jóvenes y saludables. Esta es la conclusión a la que llegaron Lulu Xie y sus colegas de la Universidad de Rochester, quienes publicaron los resultados de experimentos que consistían en estudiar durante muchos años los cerebros de ratones. (306) En su trabajo, postulan que las actividades que realizamos mientras estamos despiertos conducen a una acumulación de desechos, por ejemplo, toxinas tales como la proteína beta amiloide, vinculada con la enfermedad de Alzheimer, y otras proteínas que usualmente son inocuas se pliegan mal (con lo que no son capaces de cumplir con su función biológica). Como explica Cardinali, cuando nos dormimos, ciertos canales cerebrales específicos se expanden para permitir que el fluido cefalorraquídeo drene estas sustancias. Por eso, se cree que, cuando nuestros cerebros no tienen suficiente tiempo de descanso, las toxinas se acumulan y preparan el escenario para el desarrollo de patologías

neurodegenerativas. No sorprende entonces que uno de los primeros signos de enfermedades como la demencia o el Parkinson sea la alteración del sueño ni que algunos de los genes involucrados en la duración del sueño también lo estén con la esquizofrenia.

En otros estudios, se encontró que las personas con más depósitos de proteína beta amiloide en los lóbulos frontales eran también las que tenían mayores problemas de sueño no REM y los peores resultados en tests de memoria, (307) lo que llevó a plantear que la privación del sueño crónica aumenta el riesgo de Alzheimer en la vejez. La disrupción del sueño podría compartir un mecanismo biológico común con las enfermedades neurodegenerativas, especulan Katharina Wulff y Russell Foster, miembros del Grupo de Neurociencia Circadiana y Visual de la Universidad de Oxford. (308)

Por otro lado, se calcula que de cien personas que acuden a un hospital especializado en sueño, dos tercios presentan alguna alteración psiquiátrica, y que de cien pacientes que en un hospital general son derivados a psiquiatría, aproximadamente el 72% padece insomnio. (309)

“En su hipótesis sobre el sueño, el suizo Alexander Borbély (310) habla de dos mecanismos –explica Golombek–. Uno tiene que ver con la fatiga, con algo que se va acumulando durante el día y que cuando llega a un nivel límite uno está tan cansado que se duerme. (311) Ese sería el componente homeostático del sueño. También habría un componente circadiano, porque cada especie tiene un momento del día en que duerme. Lo que todavía no está muy claro es si alguno habilita al cuerpo a prepararse, a crecer, a consolidar memorias.”

Aquella búsqueda de la hipnotoxina, una sustancia que induce a dormir, tuvo éxitos colaterales. Por ejemplo, se encontró una molécula, llamada *adenosina* (sobre la que actúa la cafeína), que parece acumularse en los cerebros de los roedores mientras están despiertos y que se drena durante su descanso. Las sustancias inductoras del sueño podrían surgir del proceso de establecer nuevas conexiones entre las neuronas, un mecanismo sustancial para el aprendizaje, sugieren Chiara Cirelli y Tononi. (312) Al igual que otros investigadores, creen que el sueño sería una forma de liberarse de las memorias superfluas o menos importantes. “Nosotros tratamos de dilucidar qué función cumple el sueño en cualquier especie –dice Tononi–. Y tenemos una hipótesis, llamada ‘de homeostasis sináptica’ (o SHY, según sus siglas en inglés). Postulamos que sirve para la ‘renormalización’ de las sinapsis y que es el precio que pagamos por aprender. Mientras estamos despiertos,

aprendemos todo el tiempo, lo queramos o no. Así, al final del día muchas cosas habrán dejado rastros en el cerebro. Y esas trazas se traducirán en conexiones reforzadas entre las neuronas. Pero no podemos seguir reforzando y reforzando las conexiones entre las neuronas, algo tiene que pasar. Nuestra idea es que, al dormir, el cerebro (ya reunimos mucha evidencia acerca de esto) debilita las conexiones. Pero no las que se reforzaron más, porque si no, uno no aprendería nada. Preserva las cosas que son consistentes y se despoja del ruido, por decirlo de algún modo. Así, al final de la noche se restablece el buen funcionamiento del cerebro y se combinan los nuevos conocimientos con los antiguos.” (313)

Las incógnitas que plantea el sueño son tan intrigantes que más de ciento veinte científicos llegados desde distintas partes del mundo trabajan desde hace cinco años en el nuevo Instituto Internacional para la Medicina Integrativa del Sueño de la Universidad de Tsukuba, ubicado a una hora al norte de Tokio. (314) Masashi Yanagisawa, su director, decidió orientar ese centro ultramoderno al estudio de la biología básica del sueño y ambiciona develar sus misterios con proyectos de Big Science, que involucran un enorme esfuerzo y muchos investigadores. Uno de ellos es un vasto tamizaje de los genes asociados con el sueño que incluye la observación de más de ocho mil ratones en busca de signos que permitan resolver el rompecabezas. Cuando alguno duerme de forma extraña, si se despierta mucho o duerme mucho, por ejemplo, los científicos exploran su genoma. Si hay una mutación que podría explicar ese comportamiento, tratan de crear ratones genéticamente modificados a los que les introducen ese cambio genético para ver si produce alteraciones. Estos y otros estudios intentan dilucidar algunas de las preguntas sin respuesta. ¿Por qué en los chicos el 50% del sueño es REM mientras que en los adultos solo lo es el 25%? También hay variaciones que surgen de diferencias culturales y que con frecuencia se pasan por alto en los estudios biológicos, ya que las condiciones consideradas óptimas o básicas para el bienestar humano difieren en las distintas comunidades. Como muestran investigaciones antropológicas, sociológicas y hasta políticas, (315) los patrones de sueño pueden ser llamativamente diversos. Por ejemplo, en sociedades no occidentales, dormir acompañado es la norma y dormir solo, la excepción. Las horas a las que las personas se acuestan varían, se suele dormir la siesta y los lugares establecidos para el descanso se comparten con animales en ambientes ruidosos. Más aún: algunas sociedades no tienen horarios fijos para dormir, se duerme durante la preparación de la comida y

otras actividades, y el colecho es frecuente y se prolonga hasta la adultez. Esto ocurre, por ejemplo, entre los gebusi, de Papúa Nueva Guinea y los lese, de la República Democrática del Congo. Las familias de El Cairo y los pueblos agrarios de Egipto también muestran preferencia por el colecho y lo describen como algo que les ofrece un sentimiento de protección y parte integral de las relaciones en la vida familiar. De hecho, son pocos los individuos que optan por dormir solos. Los asabano, por su parte, valoraban dormir con otros del mismo género o miembros de su familia, entre otras cosas, para protegerse de entidades como las brujas. Para ellos, dormir con otros es tan vital como tener un techo para evitar la lluvia. Para los warlpiri, dormir no es una actividad exclusivamente nocturna y puede hacerse en cualquier momento de la jornada.

Una de los múltiples misterios todavía sin explicación son los sueños y la amnesia que sufrimos inmediatamente al despertarnos, que se asemeja al olvido de los acontecimientos recientes en la senilidad avanzada. Desde los antiguos griegos hasta videntes y “brujos” los consideraron un misterio portador de mensajes ancestrales. Freud los concibió como la *via regia* hacia el inconsciente y, tal como descubrieron muchos científicos, en los sueños no solo se plantean problemas sino que algunos también se resuelven. (316)

Cuando Leonardo da Vinci se preguntaba “¿Por qué el ojo ve una cosa con mayor claridad en los sueños que en la mente cuando está despierta?”, estaba cuestionando uno de los aspectos más desconcertantes del sueño: la experiencia soñada, hiperreal e hipervívida. Algunos creen que son disparos caóticos de las neuronas con los que nuestro cerebro, dado a buscar significados, entreteje una trama con sentido. Otros, que son parte de un mecanismo evolutivo que busca significado en los nuevos recuerdos para que nos puedan ser útiles en el futuro. Esta cualidad impresionó a los surrealistas, que intentaron plasmar en sus obras imágenes unidas por relaciones secretas inspirándose en el inconsciente y en los sueños. Este aspecto creativo también llamó la atención de los científicos, algunos de los cuales refirieron haber tenido ideas brillantes mientras soñaban. Ese fue el caso del bioquímico alemán August Kekule von Stradonitz (1829-1896), que dilucidó la estructura química en anillo del benceno después de un sueño en el que “vio” a una serpiente mordiéndose la cola, o el del alemán Otto Loewi (1873-1961), que contó que el experimento de perfusión cruzada en corazón de rana, origen de la teoría química de la transmisión nerviosa por la que ganó el Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 1936, se le ocurrió en un sueño. “Más que una recuperación del cansancio y el desgaste sufridos durante el día, el sueño de

cada noche puede ser una preparación dinámica y activa para los retos del día siguiente”, escribe Hobson.

Algo de todo esto debe haber intuido Calderón de la Barca cuando, en el siglo XVII, le hizo decir a su personaje Segismundo en el monólogo que probablemente sea el más famoso de la literatura española:

Sueña el rey que es rey, y vive
con este engaño mandando,
disponiendo y gobernando;
y este aplauso, que recibe
prestado, en el viento escribe,
y en cenizas le convierte
la muerte, ¡desdicha fuerte!
¿Que hay quien intente reinar,
viendo que ha de despertar
en el sueño de la muerte?

Sueña el rico en su riqueza,
que más cuidados le ofrece;
sueña el pobre que padece
su miseria y su pobreza;
sueña el que a medrar empieza,
sueña el que afana y pretende,
sueña el que agravia y ofende,
y en el mundo, en conclusión,
todos sueñan lo que son,
aunque ninguno lo entiende.

Yo sueño que estoy aquí
destas prisiones cargado,
y soñé que en otro estado
más lisonjero me vi.
¿Qué es la vida? Un frenesí.
¿Qué es la vida? Una ilusión,
una sombra, una ficción,
y el mayor bien es pequeño:
que toda la vida es sueño,

y los sueños, sueños son.

- 277- J. A. Hobson, *El cerebro soñador*, México, FCE, 1994.
- 278- Cit. en M. Konnikova, “The work we do while we sleep”, *The New Yorker*, 8-07-2015.
- 279- Cit. en R. Foster, ¿Por qué dormimos?, TedX Global, disponible en: <www.ted.com/talks/russell_foster_why_do_we_sleep?language=es#t-128319>.
- 280- R. Stickgold, “Las funciones vitales del sueño”, *Investigación y Ciencia*, nº 471, diciembre de 2015.
- 281- R. Stickgold, “Las funciones vitales del sueño”, *Investigación y Ciencia*, ob. cit.
- 282- C. Tomé López, “Del sueño”, *Cuaderno de Cultura Científica*, 28-01-2014.
- 283- La carencia de datos experimentales llevó también a afirmar que el aislamiento del encéfalo del resto del cuerpo se debía a una inflamación de la glándula tiroidea del cuello o a una inflamación de las glándulas linfáticas.
- 284-E. Aserinsky y N. Kleitman, “Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep”, *Science*, 118(3062): 273-274, septiembre de 1953.
- 285- D. Cardinali, *Qué es el sueño*, Buenos Aires, Paidós, 2014.
- 286- N. Bär, “Giulio Tononi: ‘Para nosotros, dormir es como comer o tener sexo; la cuestión es: ¿se parece más a comer o a tener sexo?’”, *La Nación*, 13-04-2017.
- 287- V. Greenwood, “Why do we need to sleep”, *The Atlantic*, 3-01-2018.
- 288- Uno de los primeros investigadores que estudiaron el sueño REM descubrió que, mirando el movimiento de los ojos debajo de los párpados, podía predecir cuándo se iban a despertar los bebés, algo que fascinaba a sus madres.
- 289- V. Greenwood, “Why do we need to sleep”, ob. cit.
- 290- R. Stickgold, “Las funciones vitales del sueño”, ob. cit.
- 291- E. Lugaresi y R. Medori, “Fatal familial insomnia and dysautonomia with selective degeneration of thalamic nuclei”, *New England Journal of Medicine*, nº 315, octubre de 1986, pp. 997-1003.
- 292- D. Robson, “Insomnio familiar fatal: la trágica enfermedad que quita el sueño hasta producir la muerte”, BBC Future, 26-01-2016.
- 293- D. T. Max, *The family that couldn't sleep: a medical mystery*, Nueva York, Random House, 2007.
- 294- N. Bär, “Giulio Tononi: ‘Para nosotros, dormir es como comer o tener sexo; la cuestión es: ¿se parece más a comer o a tener sexo?’”, ob. cit.
- 295- C. A. Everson, B. M. Bergmann y A. Rechtschaffen, “Sleep deprivation in the rat: III.

Total sleep deprivation”, *Sleep*, 12(1): 13-21, febrero de 1989.

296- A. Rechtschaffen, M. A. Gilliland y otros, “Physiological correlates of prolonged sleep deprivation in rats”, *Science*, 221(4606): 182-184, julio de 1983.

297- En 1983, Francis Crick y Graeme Mitchison publicaron una teoría sobre la función del sueño en la que sugerían que ayuda a eliminar información no deseada: “Soñamos para olvidar”, sostenían en “The function of dream sleep”, *Nature*, nº 304, julio de 1983, pp. 111-114.

298- M. Pappolla, “Melatonin increases A β lymphatic clearance in a transgenic mouse model of amyloidosis”, *Current Alzheimer Research*, 2018.

299- R. Stickgold, A. Malia y otros, “Replaying the game: hypnagogic images in normals and amnesics”, *Science*, 290(5490): 350-353, octubre de 2000.

300- R. Stickgold y M. P. Walker, “Sleep-dependent memory triage: evolving generalization through selective processing”, *Nature Neuroscience*, 16(2): 139-145, febrero de 2013.

301- U. Wagner, J. Born y otros, “Sleep inspires insight”, *Nature*, 427(6972): 352-355, enero de 2004.

302- R. Stickgold, “Las funciones vitales del sueño”, *Investigación y Ciencia*, nº 471, diciembre de 2015.

303- F. Sauvet, G. Leftheriotis y otros, “Effect of acute sleep deprivation on vascular function in healthy subjects”, *Journal of Applied Physiology*, 108(1), enero de 2010.

304- K. Spiegel, R. Leproult y E. van Cauter, “Impact of sleep debt on metabolic and endocrine function”, *The Lancet*, 354(9188): 1435-1439, octubre de 1999.

305- N. Bär, “Giulio Tononi: ‘Para nosotros, dormir es como comer o tener sexo; la cuestión es: ¿se parece más a comer o a tener sexo?’”, ob. cit.

306- L. Xie, H. Kang y otros, “Sleep drives metabolite clearance from the adult brain”, *Science*, 342(6156): 373-377, octubre de 2013.

307- B. A. Mander, S. M. Marks y otros, “ β -amyloid disrupts human NREM slow waves and related hippocampus-dependent memory consolidation”, *Nature Neuroscience*, nº 18, julio de 2015, pp. 1051-1057.

308- K. Wulff, R. Foster y otros, “Sleep and circadian rhythm disruption in psychiatric and neurodegenerative disease”, *Nature Reviews Neuroscience*, 11(8): 589-599, agosto de 2010.

309- Ó. Medina Ortiz, N. Sánchez Mora y otros (2007), “Alteraciones del sueño en los trastornos psiquiátricos”, *Revista Colombiana de Psiquiatría*, XXXVI(4): 701-717, 2007.

310- A. A. Borbély, S. Daan y otros, “The two process model of sleep regulation: a reappraisal”, *Journal of Sleep Research*, nº 25, enero de 2016, pp. 131-143.

311- Los patrones de sueño también varían mucho entre especies. Por ejemplo, los caballos duermen alrededor de tres horas por día; un instante, si se lo compara con los murciélagos, que pasan durmiendo alrededor de veinte horas por día.

- 312- G. Tononi y C. Cirelli, "Sleep and synaptic homeostasis", *Behavioral and Brain Sciences*, 28(1): 85-85, 2005.
- 313- N. Bär, "Giulio Tononi: 'Para nosotros, dormir es como comer o tener sexo; la cuestión es: ¿se parece más a comer o a tener sexo?'"", ob. cit.
- 314- V. Greenwood, "Why do we need to sleep", ob. cit.
- 315- C. O. Airhihenbuwa, J. I. Iwelunmor y otros, "I sleep, because we sleep: a synthesis on the role of culture in sleep behavior research", *Sleep Medicine*, nº 18, febrero de 2016, pp. 67-73.
- 316- J. A. Hobson, *El cerebro soñador*, ob. cit.

AGRADECIMIENTOS

Al diario *La Nación*, donde trabajo desde hace más de treinta años.

Como periodista científica, tuve el privilegio de conocer a innumerables investigadores que me dedicaron su tiempo, frecuentemente escaso, con una paciencia inagotable. A todos ellos, mi agradecimiento por hacerme partícipe de historias apasionantes.

En particular, quedo en deuda con Juan Martín Maldacena, Matías Zalzarriaga, Fidel Schaposnik, Javier Tiffenberg, Daniel de Florian, Juan Pablo Paz, Mario Díaz, Gonzalo Torroba, Gabriela González, Rodrigo Laje, Horacio Casini, Marina Huerta, Alejandro Clocchiatti, Diego Balseiro, Daniel Flichtentrei, María Teresa Dova, Fernanda Ceriani, Pablo Richly, María Eugenia Salinas, Dante Chialvo, Mariano Sigman, Sebastián Lipina, Facundo Manes, Agustín Ibañez, Adolfo García, Daniel Cardinali, María Eugenia Farías, Alberto Kornblihtt, Rodolfo Goya, Pedro y Tristán Bekinschtein y Pablo Bartfeld, entre muchos otros, que contestaron mis preguntas y, en varios casos, revisaron partes del texto.

A mis admirados Adrián Paenza y Diego Golombek, por sus enseñanzas y sus generosas palabras: ¡gracias!

Un agradecimiento especial para Brenda Axelrud, que corrigió y chequeó el texto con dedicación de orfebre, y a mis colegas de la Red Argentina de Periodismo Científico.

Y otro para mi editora, Ana Ojeda Bär, a quien disfruto desde los primeros momentos de su vida, y que, con entusiasmo e insospechada firmeza, literalmente me empujó hacia la meta.

Grupo  Planeta

¡Seguinos!

