

Reseña

«Quiero mostraros que el mundo real, tal como se entiende científicamente, tiene magia por sí solo; el tipo de magia que yo denomino poética: una belleza inspiradora que es la más mágica, porque es real y porque podemos entender cómo funciona. [...] La magia de la realidad es así de simple maravillosa. Maravillosa y real. Maravillosa porque es real».

A partir de preguntas muy sencillas e interesantes (¿Quién fue el primer hombre? ¿Qué es el Sol? ¿Por qué hay día y noche? ¿Qué es el arco iris? ¿Estamos solos? ¿Por qué ocurren cosas malas? ¿Cómo y cuándo empezó todo?...). Richard Dawkins nos explica qué son el ADN, el efecto Doppler, el átomo, el big bang, los neutrones o la luz.

Índice

1. [¿Qué es realidad? ¿Qué es magia?](#)
2. [¿Quién fue la primera persona?](#)
3. [¿Por qué hay tantos tipos diferentes de animales?](#)
4. [¿De qué están hechas las cosas?](#)
5. [¿Por qué tenemos noche y día, invierno y verano?](#)
6. [¿Qué es el sol?](#)
7. [¿Qué es un arcoíris?](#)
8. [¿Cómo y cuándo empezó todo?](#)
9. [¿Estamos solos?](#)
10. [¿Qué es un terremoto?](#)
11. [¿Por qué ocurren cosas?](#)
12. [¿Qué es un milagro?](#)

[Agradecimientos](#)

[Créditos de las imágenes](#)

Clinton John Dawkins 1915 - 2010

A mí amado padre

Capítulo 1

¿Qué es realidad? ¿Qué es magia?



Contenido:

- §. Modelos: pongamos a prueba nuestra imaginación*
- §. La ciencia y lo sobrenatural: la explicación y su enemigo*
- §. La lenta magia de la evolución*

Realidad es todo lo que existe. Parece sencillo, ¿verdad? Pues no lo es. Hay algunos problemas. Por ejemplo, los dinosaurios, que una vez existieron pero ya no existen. O las estrellas, que están tan lejos que en el tiempo que tarda su luz en alcanzarnos y podemos verlas,

quizá ya se hayan apagado. Más tarde volveremos con los dinosaurios y las estrellas. Pero en cualquier caso, ¿cómo sabemos que las cosas existen, incluso en el presente? Bueno, nuestros cinco sentidos —vista, olfato, oído, tacto y gusto— nos ayudan a convencernos de que muchas cosas son reales: las piedras y los camellos, la hierba recién cortada y el café recién molido, la lija y el terciopelo, las cataratas y las campanas, el azúcar y la sal. ¿Pero solo vamos a denominar «real» a aquello que podemos detectar directamente con uno de nuestros cinco sentidos? ¿Qué pasa entonces con las galaxias distantes, tan lejanas que no pueden verse a simple vista? ¿Y las bacterias, tan pequeñas que necesitamos un potente microscopio para verlas? ¿Deberíamos decir que estas cosas no existen porque no podemos verlas? No. Obviamente, podemos mejorar nuestros sentidos mediante el uso de instrumentos especiales: telescopios para las galaxias y microscopios para las bacterias. Sabemos que los telescopios y los microscopios funcionan y sabemos cómo lo hacen, por eso podemos utilizarlos para ampliar el alcance de nuestros sentidos —en este caso el sentido de la vista— y con ello convencernos de que las galaxias y las bacterias existen. ¿Qué ocurre con las ondas de radio? ¿Existen? Nuestros ojos no pueden detectarlas, tampoco nuestros oídos, pero una vez más unos instrumentos especiales — por ejemplo, los televisores— las convierten en señales que podemos ver y oír. Por tanto, aunque no podemos ver ni oír las ondas de radio, sabemos que son parte de la realidad. Al igual que con los telescopios y los microscopios, sabemos cómo funcionan los

televisores y los aparatos de radio. Nos ayudan a construir una imagen de lo que existe: el mundo real, la realidad. Los radiotelescopios (y los telescopios de rayos X) nos muestran estrellas y galaxias a través de lo que parecen ser unos ojos diferentes: otra forma de ampliar nuestra visión de la realidad.



Volvamos ahora a los dinosaurios. ¿Cómo sabemos que alguna vez habitaron la Tierra? Nunca los hemos visto, ni los hemos oído, ni hemos tenido que huir de ellos. Lamentablemente, no tenemos una máquina del tiempo para poder verlos en directo. Pero tenemos un tipo distinto de ayuda para nuestros sentidos: los fósiles, y podemos *verlos* a simple vista. Los fósiles no corren ni saltan, pero sabemos cómo se formaron, y pueden decirnos cosas que ocurrieron hace millones de años. Podemos entender cómo el agua, con minerales

disueltos en ella, se introduce en cadáveres enterrados bajo capas de barro y piedras. También que esos minerales se cristalizan fuera del agua y reemplazan los materiales de los cadáveres, átomo por átomo, dejando ciertas huellas de la forma original del animal impresas en la piedra. Por tanto, aunque no podemos ver directamente a los dinosaurios con nuestros sentidos, podemos deducir que existieron utilizando pruebas indirectas que sí están al alcance de nuestros sentidos: vemos y tocamos los trazos en piedra de la vida antigua.

En un sentido distinto, un telescopio puede funcionar a modo de máquina del tiempo. Lo que vemos cuando miramos cualquier cosa es en realidad luz, y la luz tarda un tiempo en llegar a nosotros. Incluso cuando miras a la cara de un amigo estás viendo el pasado, porque la luz de su cara tarda una minúscula fracción de segundo en llegar a tu ojo. El sonido viaja mucho más despacio, por eso vemos los fuegos artificiales en el cielo bastante antes de oír la explosión. Cuando ves a un hombre talando un árbol a larga distancia, existe cierto retraso en el sonido de su hacha golpeando el árbol. La luz viaja tan deprisa que normalmente asumimos que todo lo que vemos está ocurriendo en el preciso instante en que lo vemos. Pero con las estrellas ya es otra cosa. Incluso el sol está a ocho minutos luz de nosotros. Si el sol explotara, ese suceso catastrófico no sería parte de nuestra realidad hasta ocho minutos después. ¡Y además, sería nuestro fin! En el caso de la siguiente estrella más cercana, Próxima Centauri, si la miras en 2011 lo que verás ocurrió en 2007. Las galaxias son un conjunto gigantesco de

estrellas. Nosotros estamos en una galaxia llamada la Vía Láctea. Cuando miras hacia la siguiente galaxia tras la Vía Láctea, la galaxia de Andrómeda, tu telescopio es una máquina del tiempo que te hace retroceder dos millones y medio de años. Existe un conjunto de cinco galaxias, denominadas el Quinteto de Esteban, que podemos ver a través del telescopio Hubble chocando espectacularmente unas con las otras. Pero las estamos viendo chocar hace 280 millones de años. Si hay alienígenas en alguna de esas galaxias y tienen un telescopio lo suficientemente potente como para vernos, lo que están viendo en la Tierra, en este preciso instante, aquí y ahora, son los antepasados de los dinosaurios. ¿Existen realmente extraterrestres en el espacio exterior? Nunca los hemos visto ni oído. ¿Son parte de la realidad? Nadie lo sabe; pero lo que sí sabemos es el tipo de cosas que quizá algún día nos digan si lo son. Si alguna vez nos acercamos a un extraterrestre, nuestros órganos sensoriales podrán hablarnos sobre él. Quizá alguien invente algún día un telescopio tan potente como para detectar vida en otros planetas. O quizá nuestros radiotelescopios reciban mensajes que solo puedan provenir de una inteligencia extraterrestre. La realidad no solo consiste en las cosas que ya conocemos: también incluye cosas que existen pero aún no conocemos, y tal vez tardemos mucho tiempo en conocer, quizá cuando hayamos construido mejores instrumentos para ayudar a nuestros cinco sentidos.

Los átomos siempre han existido, pero hace poco tiempo que sabemos con seguridad de su existencia, y es probable que nuestros

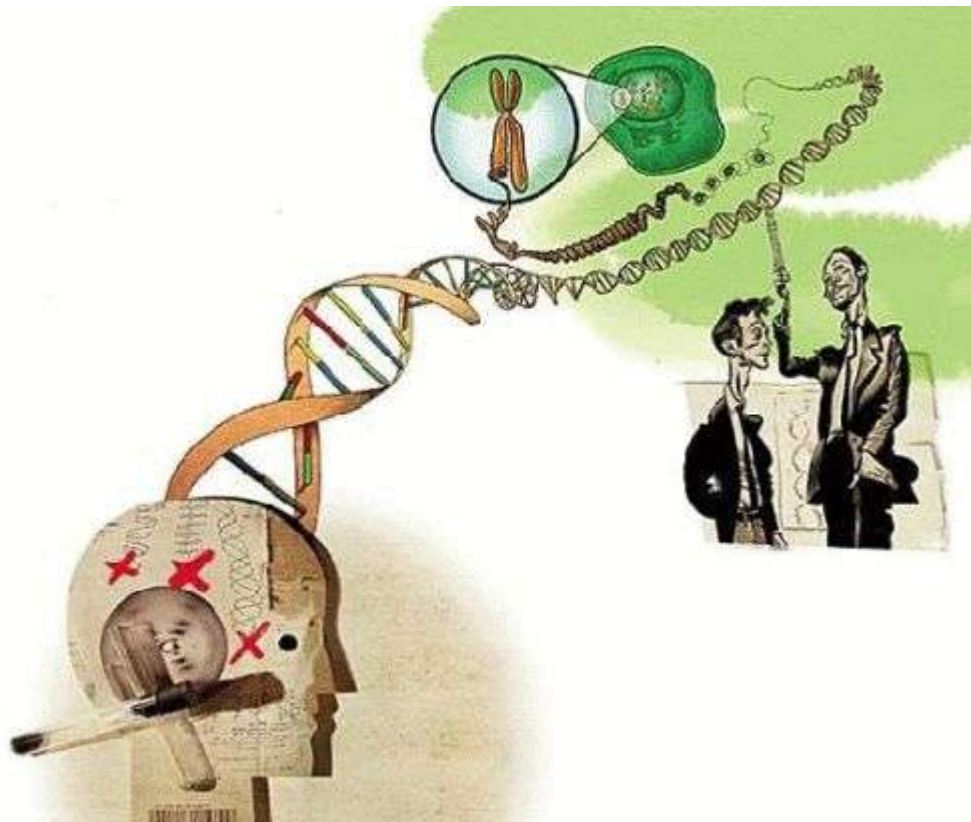
descendientes sepan muchas cosas más que nosotros desconocemos. Esa es la maravilla y el encanto de la ciencia: avanzar cada día y descubrir cosas nuevas. Esto no significa que debamos creer *todo* lo que alguien haya soñado alguna vez: hay millones de cosas que podemos imaginar, pero es muy improbable que sean reales, como hadas, duendes, gnomos o hipogrifos. Siempre debemos tener la mente abierta, pero el único motivo razonable para creer que algo existe es que haya una prueba real de ello.

§. Modelos: pongamos a prueba nuestra imaginación

Los científicos utilizan un método menos cercano para determinar si algo es real cuando nuestros cinco sentidos no pueden detectarlo directamente. Consiste en utilizar un «modelo» de lo que *podría* estar ocurriendo, y que después puede ser comprobado. Imaginamos —o suponemos— qué puede ser. Esto se denomina el modelo. Después deducimos (normalmente, mediante cálculos matemáticos) lo que deberíamos ver, oír, *etc.*, (a menudo con la ayuda de instrumentos de medida) si el modelo fuera real. Por último, comprobamos si eso es lo que realmente vemos.

El modelo podría ser literalmente una réplica hecha con madera o plástico, o podría ser una serie de cálculos matemáticos en papel, o incluso una *simulación* en un ordenador. Observamos con detenimiento el modelo y *predecimos* lo que deberíamos ver (o escuchar, *etc.*) con nuestros sentidos (quizá con ayuda de instrumentos) si el modelo fuera correcto. Después observamos para

determinar si las predicciones son correctas o erróneas. Si son correctas, se incrementa nuestra confianza en que el modelo representa a la realidad; después seguimos creando más experimentos, quizá ajustando más el modelo, para probar los siguientes descubrimientos y confirmarlos. Si nuestras previsiones son erróneas rechazamos el modelo, o lo modificamos y lo volvemos a probar.



Veamos un ejemplo. Actualmente sabemos que los genes —las unidades de herencia— están hechos de una materia denominada ADN. Sabemos bastante sobre el ADN y cómo funciona.

Pero no podemos ver qué aspecto tiene el ADN, ni siquiera con un potente microscopio. Prácticamente, todo lo que sabemos sobre el ADN procede de modo indirecto de modelos inventados y probados.

De hecho, mucho antes de que nadie hubiera oído hablar del ADN, los científicos ya sabían muchas cosas sobre los genes gracias a pruebas con modelos. En el siglo XIX, un monje austriaco llamado Gregor Mendel realizó experimentos en el jardín de su monasterio, cultivando grandes cantidades de guisantes. Contó el número de plantas que tenían flores de distintos colores, o las que daban guisantes lisos o arrugados, y así generación tras generación. Mendel nunca vio ni tocó un gen. Todo lo que veía eran guisantes y flores, y podía usar sus ojos para *contar* los distintos tipos. Mendel inventó un *modelo* que trabajaba con lo que ahora llamaríamos genes (aunque él nunca los denominó así), y calculó que si su modelo era correcto, en un experimento concreto de cultivo debería haber tres veces más guisantes lisos que arrugados. Y eso es lo que descubrió cuando las contó. Dejando a un lado los detalles, el hecho es que los «genes» de Mendel fueron una invención de su imaginación: no podía verlos con los ojos, ni siquiera con un microscopio.

Pero podía ver las judías lisas y las arrugadas, y al contarlas descubrió pruebas indirectas de que su *modelo* de herencia era una buena representación de algo en el mundo real.

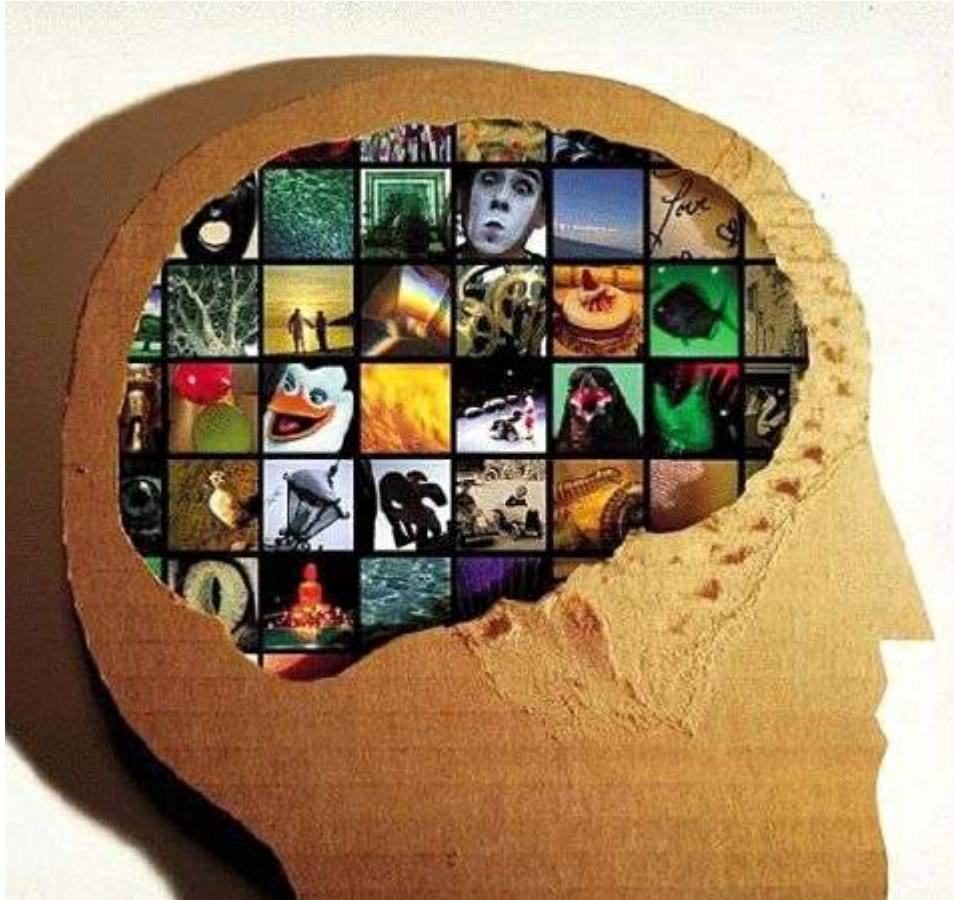
Años después, otros científicos utilizaron una modificación del método de Mendel —con otros seres vivos, como la mosca de la fruta en lugar de las guisantes— para mostrar que los genes están

ordenados de una forma concreta, en unas hileras llamadas cromosomas (los humanos tenemos 46 cromosomas; la mosca de la fruta tiene ocho) Incluso fue posible detectar mediante modelos el orden exacto en el que los genes estaban colocados a lo largo de los cromosomas. Todo esto se hizo mucho antes de que supiéramos que los genes están hechos de ADN.

Ahora ya lo sabemos, y sabemos exactamente cómo funciona el ADN, gracias a James Watson y Francis Crick, junto con otra gran cantidad de científicos que les siguieron. Watson y Crick no pudieron ver el ADN a simple vista. Una vez más, realizaron sus descubrimientos imaginando modelos y probándolos. En su caso, construyeron literalmente modelos de cartulina y metal del aspecto que debería tener el ADN, y calcularon qué medidas tendrían si esos modelos fueran correctos. Las predicciones de un modelo, la denominada doble hélice, coincidían exactamente con las medidas tomadas por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins, utilizando instrumentos especiales como rayos X proyectados en cristales de ADN purificado.

Por tanto, tenemos tres formas de saber si algo es real. Podemos detectarlo directamente utilizando nuestros cinco sentidos; o indirectamente utilizando nuestros sentidos con la ayuda de instrumentos especiales como los telescopios y los microscopios; o incluso de forma aún más indirecta, creando modelos de lo que *podría* ser real y después probando dichos modelos para ver si predicen cosas que podemos ver (u oír, etc.) con o sin la ayuda de

instrumentos. En definitiva, de una u otra forma todo depende de nuestros sentidos.



¿Significa esto que la realidad tan solo contiene cosas que pueden ser detectadas —directa o indirectamente— por nuestros sentidos y por los métodos de la ciencia? ¿Qué hay de cosas como la alegría o los celos, la felicidad o el amor? ¿No son también reales?

Sí, son reales. Pero dependen para su existencia del cerebro: sin duda del cerebro humano, y probablemente de los cerebros de otras especies animales avanzadas, como los chimpancés, los perros y las ballenas. Las piedras no sienten alegría ni celos, y las montañas no

aman. Estas emociones son intensamente reales para aquellos que las experimentan, pero no existían antes de los cerebros.

Es posible que emociones como estas —y quizá otras en las que ni podemos soñar— puedan existir en otros planetas, pero solo si dichos planetas contienen también cerebros o algo equivalente a los cerebros: quién sabe qué tipo de órganos extraños o máquinas de sentir puedan existir en algún lugar del universo.

§. La ciencia y lo sobrenatural: la explicación y su enemigo

Así que esto es la realidad, y así es como podemos determinar si algo es real o no. Cada capítulo de este libro está dedicado a un aspecto concreto de la realidad: el sol, por ejemplo, o los terremotos, o el arco iris, o los muchos tipos diferentes de animales. Pasemos ahora a la otra palabra clave del título: la magia. Magia es una palabra escurridiza: suele usarse de tres formas diferentes y lo primero que debemos hacer es distinguirlas. Llamaré a la primera «magia sobrenatural», a la segunda, «magia de escenario» y a la tercera (que es mi favorita, y la que traté de utilizar en el título), «magia poética».

La magia sobrenatural es el tipo de magia que encontramos en los mitos y los cuentos de hadas (también en los «milagros», aunque por ahora dejaré estos para retomarlos en el último capítulo). Es la magia de la lámpara de Aladino, de los hechizos de las brujas, de los hermanos Grimm o de Hans Christian Andersen y J. K. Rowling.

Es la magia ficticia de una bruja que recita un hechizo y convierte a un príncipe en una rana o de un hada madrina que convierte una

calabaza en un carruaje reluciente. Se trata de historias que todos recordamos de nuestra infancia y muchos de nosotros seguimos disfrutando cuando las vemos representadas en una obra teatral navideña, pero todos sabemos que este tipo de magia es simplemente ficción y que nunca ha ocurrido en realidad.

La magia de escenario, por el contrario, sí existe, y puede ser muy divertida. O al menos, sucede *algo* real, aunque no es lo que los espectadores creen.



Un hombre en un escenario (normalmente es un hombre, por algún motivo, por eso lo escribo en masculino, pero puedes usar el femenino si lo prefieres) nos convence de que pensemos que algo

alucinante (incluso podría *parecer* sobrenatural) ha sucedido, cuando en *realidad* lo que ha ocurrido es algo ligeramente distinto.

Los pañuelos de seda no pueden convertirse en conejos, al igual que las ranas no pueden convertirse en príncipes. Lo que hemos visto en el escenario es únicamente un truco. Nuestros ojos nos han engañado, o quizá el ilusionista ha engañado a nuestros ojos, utilizando palabras para distraernos de lo que realmente está haciendo con las manos.

Algunos ilusionistas son honestos y se esfuerzan para que su público sepa que simplemente han realizado un truco. Estoy pensando en gente como el «maravilloso» Randy, o Penn y Teller o Derren Brown.

Aun así, estos admirables artistas no suelen decirle al público *cómo* hacen exactamente su truco —podrían ser expulsados del Círculo Mágico (el club de los ilusionistas) si lo hacen—, tan solo se aseguran de que el público sepa que no hay magia sobrenatural en lo que hacen. Otros no lo dicen tan claro, pero no exageran sobre lo que han hecho; simplemente dejan que el público sienta que algo misterioso ha ocurrido, sin mentir directamente sobre ello. Pero por desgracia hay algunos magos que son deliberadamente deshonestos, y que pretenden hacernos creer que en verdad tienen poderes «sobrenaturales» o «paranormales»: quizá afirman que realmente pueden doblar metales o detener relojes solo con el poder de la mente. Algunos de estos farsantes deshonestos («charlatanes» es una buena palabra para definirlos) cobran grandes cantidades de dinero a empresas mineras o petrolíferas diciéndoles que pueden

utilizar sus «poderes psíquicos» para encontrar un buen lugar de perforación. Otros charlatanes se aprovechan de gente que está sufriendo y les aseguran que son capaces de contactar con los muertos. Cuando ocurre esto, ya no se trata de diversión ni entretenimiento, sino de alimentarse del sufrimiento y la ignorancia de las personas. Para ser honesto, puede que no todas estas personas sean charlatanes. Puede que algunos de ellos creen sinceramente que están hablando con los muertos.

El tercer significado de magia es al que quería referirme en el título: la magia poética. Podemos llegar a llorar con una pieza maravillosa de música y describimos el concierto como «mágico». Cuando observamos las estrellas en una noche oscura sin luna ni luces artificiales, nos quedamos casi sin respiración y decimos que la visión es «pura magia». Podemos utilizar la misma palabra para describir una puesta de sol maravillosa, un paisaje alpino o un arco iris delante de un cielo oscuro. En este sentido, «mágico» significa algo profundo, excitante: algo que nos pone la piel de gallina, que nos hace sentir más vivos. Lo que me gustaría mostraros en este libro es que la realidad —los hechos del mundo real tal como los entendemos a través de los métodos de la ciencia— es mágica en este tercer sentido, el sentido poético, el sentido de qué-bueno-es-estar-vivos.



Ahora quiero retomar la idea de lo sobrenatural y demostraros por qué nunca nos ofrece una explicación real de las cosas que vemos en el mundo y en el universo que nos rodea. De hecho, recurrir a una explicación sobrenatural de algo no es en absoluto explicarlo, y lo que es peor, nos impide cualquier posibilidad de que pueda ser explicado. ¿Por qué digo esto? Porque cualquier cosa «sobrenatural» debe estar, por definición, más allá del alcance de una explicación natural. Debe estar más allá del alcance de la ciencia y del método científico probado y comprobado que ha sido responsable de los enormes avances en el conocimiento que hemos disfrutado en los últimos 400 años, más o menos. Decir que algo ha ocurrido de forma sobrenatural no es solo decir «no lo entendemos», sino decir «nunca lo entenderemos, así que ni lo intentes».

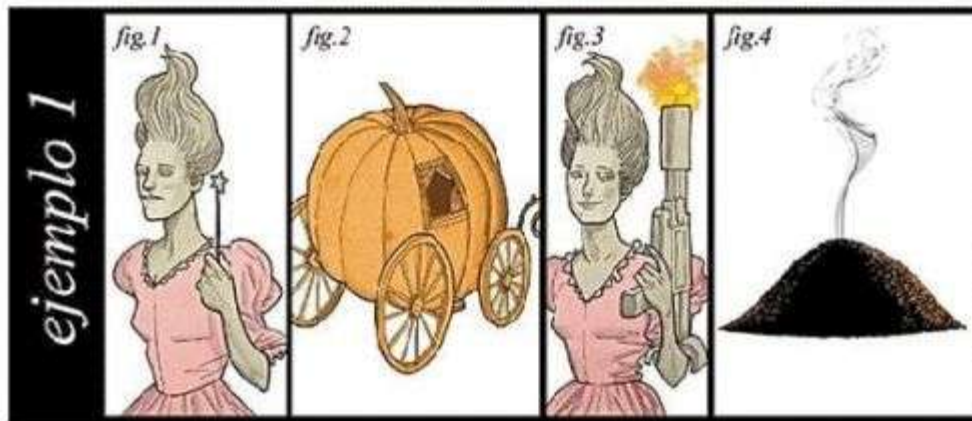
La ciencia utiliza exactamente el planteamiento contrario. La ciencia prospera gracias a su capacidad para explicarlo todo, y la utiliza como aliciente para seguir haciéndose preguntas, creando posibles modelos y probándolos, y así vamos haciendo camino, metro a

metro, de la mano de la verdad. Si ocurriera algo que fuera en contra de nuestro entendimiento actual de la realidad, los científicos lo verían como un reto a nuestro modelo actual, y tendrían que abandonarlo, o al menos cambiarlo. Gracias a estos ajustes y posteriores pruebas nos vamos acercando cada vez más a lo que es verdad.

¿Qué pensarías de un detective que, abrumado por un asesinato, fuera tan perezoso que ni siquiera lo investigara, y en lugar de ello lo calificara de «sobrenatural»? La historia de la ciencia nos ha demostrado que aquellas cosas que algún día creímos que eran resultado de algo «sobrenatural» —causado por dioses (tanto buenos como malos), demonios, brujas, espíritus, maldiciones o hechizos— en realidad tienen explicaciones naturales: explicaciones que podemos entender y probar, y en las que confiamos.

No existe motivo alguno para creer que aquellas cosas para las que la ciencia *aún* no tiene explicaciones naturales tengan que ser de origen sobrenatural, igual que los volcanes, los terremotos o las enfermedades no están provocados por el enfado de los dioses, como la gente creyó en su día.

Como es lógico, nadie cree realmente que sea posible convertir a una rana en un príncipe (¿o era un príncipe en una rana? Nunca logro acordarme) o una calabaza en un carruaje, pero ¿os habéis parado a pensar alguna vez *por qué* esas cosas son imposibles? Hay varias formas de explicarlo. Mi favorita es la siguiente.



Las ranas y los carruajes son cosas complicadas, con un montón de partes que necesitan unirse de un modo especial, según un patrón concreto que no puede ocurrir simplemente por accidente (ni por mover una varita mágica) Esto es lo que significa «complicado». Es muy difícil crear algo tan complicado como una rana o un carruaje. Para construir un carruaje necesitamos colocar todas las partes en su orden correcto. Necesitamos la habilidad de un carpintero y de otros artesanos. Los carruajes no surgen por casualidad o frotando los dedos y diciendo «abracadabra». Un carruaje tiene una estructura, una complejidad, partes funcionales: ruedas y ejes, ventanas y puertas, ballestas y asientos acolchados. Sería relativamente fácil convertir algo complicado como un carruaje en algo simple, como ceniza, por ejemplo: la varita mágica del hada madrina solo necesitaría incorporar una antorcha. Es fácil convertir cualquier cosa en ceniza. Pero nadie puede coger un montón de ceniza —o una calabaza— y convertirla en un carruaje, porque un carruaje es demasiado complicado; y no solo complicado, sino

complicado *en una dirección útil*: en este caso útil para que la gente viaje en él.

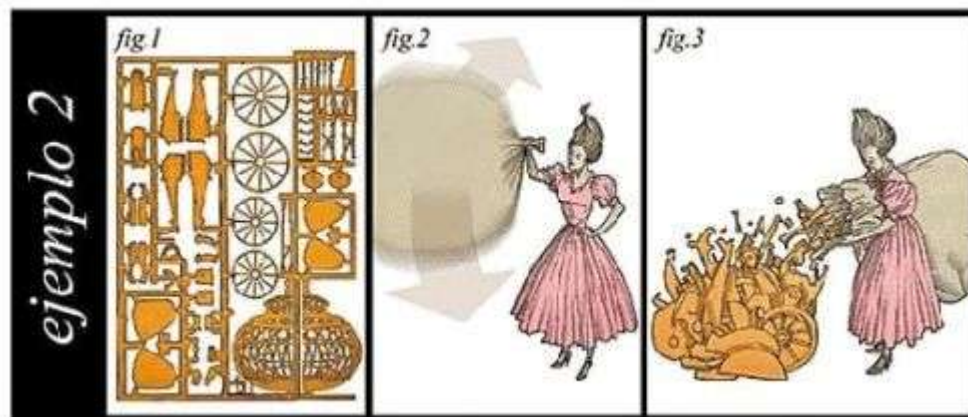
Vamos a ponérselo un poco más fácil al hada madrina, suponiendo que en lugar de utilizar una calabaza hubiera utilizado todas las piezas necesarias para construir un carruaje, todas metidas en una caja como uno de esos kits para construir un avión a escala.

El kit para construir un carruaje incluye cientos de listones de madera, paneles de cristal, varillas y barras de metal, gomaespuma y piezas de cuero, junto con tornillos, tuercas y botes de pegamento para unirlo todo. Suponed ahora que en lugar de leer las instrucciones y unir las piezas en una secuencia ordenada, simplemente lo metiera todo en un gran bolso y lo agitara. ¿Qué posibilidades hay de que las partes se unan entre sí en el modo exacto para construir un carruaje que funcione? La respuesta es: absolutamente ninguna. Y parte del motivo es el inmenso número de *posibles* formas en las que podríamos combinar todos los elementos y piezas que no darían como resultado un carruaje que funcionara, ni *nada* que funcionara.

Si cogéis un montón de partes y las mezcláis de forma aleatoria, quizá en ocasiones caigan en un orden útil o que simplemente reconoceríamos como algo especial. Pero el número de formas en el que esto puede ocurrir es mínimo: ínfimo, de hecho, comparado con el número de formas en el que caerían en un patrón irreconocible, poco más que un montón de basura.

Existen millones de formas de ordenar y reordenar una serie de elementos y piezas: millones de formas de transformarlo en... otro

montón de elementos y piezas. Cada vez que las volvemos a mezclar obtenemos un montón único de basura nunca visto antes, pero solo una ínfima minoría de esos millones de posibles montones llegaría a ser algo útil (capaz, por ejemplo, de llevaros al baile) o de alguna forma interesante.



A veces podemos contar literalmente el número de formas en las que se puede reordenar una serie de elementos, como ocurre con las barajas de cartas, por ejemplo, donde los elementos son las cartas individuales.

Suponed que el crupier baraja las cartas y las reparte a cuatro jugadores, de manera que cada uno reciba 13 cartas. Yo miro mis cartas y me quedo boquiabierto. ¡Tengo una mano completa de 13 *picas*! Todas las *picas*.

Estoy demasiado asustado como para seguir con el juego y muestro mi mano al resto de jugadores, sabiendo que estarán tan alucinados como yo.



Pero después, uno por uno, los otros tres jugadores muestran sus cartas sobre la mesa y la sorpresa aumenta con cada mano. Todos tienen una mano «perfecta»: uno tiene 13 corazones, otro, 13 diamantes y el último, 13 tréboles.

¿Podría ser esto magia sobrenatural? Quizá estaríamos tentados a pensar que sí. Los matemáticos pueden calcular la probabilidad de que esta increíble mano aparezca puramente por azar. Resulta que es casi imposible por pequeña: una entre 53 644 737 765 488 792 839 237 440 000. ¡Ni siquiera estoy seguro de cómo se dice este número! Si os sentáis a jugar a las cartas durante un billón de años, puede que una vez obtengáis esa mano perfecta. Pero, y este

es el asunto, ¡esa mano no es más improbable que *cualquier otra mano de cartas que haya aparecido!* La probabilidad de *cualquier* mano concreta de 52 cartas es de una entre 53 644 737 765 488 792 839 237 440 000 porque ese es el número total de manos posibles. Simplemente, no vemos ningún patrón particular en la gran mayoría de manos que han salido, por tanto, no nos resultan extraordinarias. Solo nos fijamos en aquellas manos que resultan llamativas por algún motivo.

Hay miles de millones de cosas en las que podrías convertir a un príncipe, si fueras lo suficientemente brutal como para reordenar sus elementos en miles de millones de combinaciones al azar. Pero la mayoría de esas combinaciones serían un desastre, como los miles de millones de manos de cartas aleatorias, sin sentido, que hemos repartido. Solo una ínfima minoría de esas posibles combinaciones de mezcla aleatoria de elementos de príncipe podrían ser reconocibles o buenas para algo, desde luego no para convertirse en una rana.

Los príncipes no se convierten en ranas y las calabazas no se convierten en carruajes, porque las ranas y los carruajes son cosas complicadas cuyos elementos podrían haberse combinado en un número prácticamente infinito de montones de basura. Y sabemos, de hecho, que cada ser vivo —cada humano, cada cocodrilo, cada mirlo, incluso cada árbol y cada col de Bruselas— ha evolucionado de otra forma originalmente más simple. Por tanto, ¿no será *esto* una especie de azar o un tipo de magia? ¡No! ¡De ninguna manera! Este es un error muy común, y por eso quiero explicaros ahora

mismo por qué lo que vemos en la vida real no es resultado de la suerte o de cualquier cosa remotamente «mágica» (salvo, por supuesto, en el sentido estrictamente poético de algo que nos llena de sobrecogimiento y deleite).

§. La lenta magia de la evolución

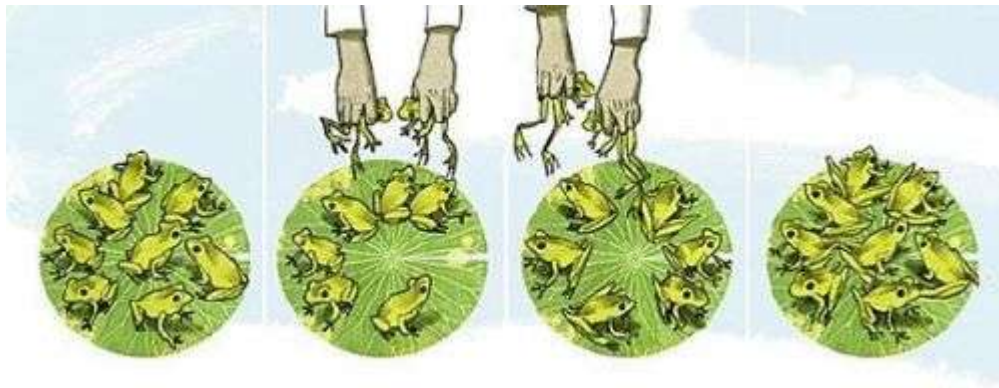
Convertir un organismo complejo en otro organismo complejo en un único paso —igual que en un cuento de hadas— es algo que supera los límites de lo probable. Pero los organismos complejos *existen*. Entonces, ¿cómo han aparecido? ¿Cómo es posible que existan cosas tan complicadas como las ranas y los leones, los babuinos y los árboles bananeros, los príncipes y las calabazas, incluso tú y yo? Durante la mayor parte de la Historia, esta ha sido una cuestión desconcertante, que nadie ha podido responder con propiedad. Por tanto, la gente ha inventado historias para tratar de explicarlo.

La longitud media de las patas de tu población de ranas podría ser ahora considerablemente mayor que la longitud media de las patas de la población inicial. Incluso puede que descubras que *todas* las ranas de la 10ª generación tienen las patas más largas que cualquiera de las ranas de la primera generación.



Quizá 10 generaciones puedan no ser suficientes para conseguirlo: tal vez necesites 20 generaciones o incluso más. Pero al final podrás asegurar con orgullo: «He creado un nuevo tipo de rana con las patas más largas que las anteriores».

No has necesitado varita mágica. No has necesitado magia de ningún tipo. Lo que tenemos aquí es el proceso denominado *cría selectiva*. Se basa en el hecho de que las ranas varían unas de otras y de que dichas variaciones tienden a ser heredadas, es decir, transmitidas de padres a hijos a través de los genes. Simplemente seleccionando cuáles son las ranas que hay que criar y cuáles no, podemos crear un nuevo tipo de rana.



Sencillo, ¿no crees? Pero hacer que las patas sean más largas no es demasiado impresionante. Al fin y al cabo, has empezado con ranas, con ranas de patas cortas.

Supón ahora que comenzases no con un tipo de rana de patas cortas, sino con algo que no tiene nada que ver con una rana, digamos algo como un tritón. Los tritones tienen las patas muy cortas comparadas con las patas de las ranas (con las patas *traseras* de las ranas, al menos), y no las utilizan para saltar, sino para caminar. Los tritones tienen una cola larga, mientras que las ranas no tienen cola, y los tritones son más largos y estrechos que la mayoría de las ranas. Pero supongo que eres capaz de imaginar que, tras algunos miles de generaciones, puedes convertir una población de tritones en una población de ranas, simplemente seleccionando de forma paciente en cada una de esas millones de generaciones, machos y hembras que sean ligeramente más parecidos a una rana y dejar que se reproduzcan, evitando que sus amigos menos parecidos a las ranas lo hagan. En ningún momento

del proceso observarías un cambio radical. Cada generación se parecería muchísimo a la generación anterior, no obstante, a medida que avanzaran las generaciones, irías notando que la longitud media de la cola era ligeramente más corta y la longitud media de las patas traseras, ligeramente más larga. Después de un buen número de generaciones, los individuos de patas largas y colas cortas podrían empezar a utilizar sus largas patas para saltar en lugar de andar. Y así con todo.

Como es lógico, en el escenario que acabo de describir nos estamos imaginando a nosotros mismos como criadores, seleccionando aquellos machos y hembras que queremos que se reproduzcan para conseguir el resultado final que *hemos* elegido. Los granjeros han estado utilizando esta técnica durante miles de años para producir ganado y cosechas más abundantes, resistentes a las enfermedades, *etc.* Darwin fue la primera persona en entender que esto funciona *incluso sin necesidad de criadores que realicen la selección*. Darwin observó que todo esto podía ocurrir *de forma natural*, como una casualidad, por el simple motivo de que algunos individuos sobreviven más tiempo para poder reproducirse, y otros no; y aquellos que sobreviven lo hacen porque están mejor equipados que los demás. Por tanto, los hijos de los supervivientes heredan los genes que han ayudado a sus padres a sobrevivir. Tanto si se trata de tritones como de ranas, de erizos o de dientes de león, siempre habrá algunos individuos que sobreviven mejor que otros. Si resulta que las patas largas son útiles (a ranas y saltamontes para huir del peligro, o a guepardos para cazar gacelas, o a gacelas para huir de

guepardos), los individuos con patas más largas tendrán menos posibilidades de morir. Tendrán más posibilidades de vivir lo suficiente para reproducirse. Además, la mayoría de los individuos disponibles para reproducirse tendrán patas largas. Por tanto, en todas las generaciones habrá mayores opciones de que los genes de patas largas puedan pasar a la siguiente generación. Con el paso del tiempo, comprobaríamos que cada vez más individuos de la población tienen los genes de las patas largas. Por tanto, el efecto será exactamente el mismo que si un diseñador inteligente, como un criador humano, hubiera elegido individuos de patas largas para la cría, salvo que no hace falta *dicho diseñador*: todo ocurre de forma natural, como la consecuencia automática de qué individuos sobreviven más para poder reproducirse y cuáles no. Por este motivo, el proceso se denomina *selección natural*.

A partir de un número suficiente de generaciones, antepasados con forma de tritón pueden convertirse en descendientes con forma de rana. Dadas aún más generaciones, antepasados con forma de pez pueden convertirse en descendientes con forma de mono. Y con más generaciones aún, antepasados con forma de bacteria pueden convertirse en descendientes con forma de humano. Y esto es exactamente lo que ha sucedido. Este es el tipo de cosas que han ocurrido en la historia de todos los animales y plantas que hayan vivido jamás. El número de generaciones necesarias es mayor de lo que tú o yo podamos imaginar, pero el mundo tiene millones de años de edad, y sabemos por los fósiles que la vida comenzó hace

En el caso de las calabazas que se convierten en carruajes, los hechizos mágicos son tan inútiles como en el caso de las ranas y los príncipes. Los carruajes no evolucionan, o al menos no de forma natural, del mismo modo que lo hacen las ranas y los príncipes. Pero los carruajes —igual que los aeroplanos o los picos, los ordenadores o las puntas de flecha— están hechos por humanos que *sí* han evolucionado. Los cerebros humanos y las manos humanas han evolucionado por selección natural, igual que lo han hecho las colas de los tritones y las patas de las ranas. Y los cerebros humanos, una vez evolucionados, fueron capaces de diseñar y crear carruajes y coches, tijeras y sinfonías, lavadoras y relojes. Una vez más, no hay magia. Una vez más, no hay trucos. Una vez más, todo se explica de forma simple y maravillosa.

En el resto de este libro quiero mostraros que el mundo real, tal como se entiende científicamente, tiene magia por sí solo, el tipo de magia que yo denomino poética: una belleza inspiradora que es la más mágica porque es real y porque podemos entender cómo funciona. Comparados con la belleza y la magia del mundo real, los conjuros sobrenaturales y los trucos de ilusionista se ven baratos y vulgares. La magia de la realidad no es sobrenatural ni es un truco, pero —así de simple— es maravillosa. Maravillosa y real. Maravillosa *porque es real*.

Capítulo 2

¿Quién fue la primera persona?

*Contenido:*

- §. ¿Quién fue realmente la primera persona?*
- §. Convertidos en piedra*
- §. Regreso en el tiempo*
- §. El ADN nos indica que todos somos primos*

La mayoría de los capítulos de este libro comienzan por una pregunta. Mi intención es contestar a esa pregunta, o al menos proporcionar la mejor respuesta posible, que es la respuesta de la ciencia. Pero normalmente empezaré con algunas respuestas míticas porque resultan pintorescas e interesantes, y la gente real ha creído en ellas. Algunos siguen haciéndolo.

Todos los pueblos del mundo tienen mitos sobre su origen, historias que narran su procedencia. Muchos mitos de origen tribal hablan únicamente de su tribu en concreto — ¡como si el resto no existieran!—. De forma similar, muchas tribus tienen una regla por la que no deben matar a la gente —pero «la gente» significa solo los de su tribu—. ¡Matar gente de otras tribus está bien!

Veamos ahora un mito típico sobre el origen, perteneciente a un grupo de aborígenes de Tasmania. Un dios llamado Moinee fue derrotado por un dios rival llamado Dromerdeener en una terrible batalla en los cielos. Moinee cayó de las estrellas y fue a dar en Tasmania para morir. Antes de morir quiso otorgar una última bendición a su lugar de reposo eterno, así que decidió crear a los humanos. Pero tenía tanta prisa al saber que estaba muriendo que olvidó darles rodillas; y (sin duda distraído por su aflicción) les proporcionó grandes colas como las de los canguros, lo que significaba que no podían sentarse. Después murió. La gente odiaba tener colas de canguro y no tener rodillas, así que rogaron a los cielos en busca de ayuda.

El poderoso Dromerdeener, que seguía paseando por el cielo en su desfile victorioso, escuchó sus llantos y bajó a Tasmania para ver de qué se trataba. Se apiadó de la gente, les dio rodillas flexibles y les cortó la incómoda cola de canguro, de manera que al fin pudieran sentarse; y vivieron felices para siempre.

Es muy frecuente que encontremos distintas versiones del mismo mito. No es extraño, porque la gente suele cambiar algunos detalles cuando relata los cuentos alrededor de una hoguera, de manera que

las versiones locales de las historias van variando. En una versión distinta del mito de Tasmania, Moinee creó al primer hombre, llamado Parlevar, cuando aún estaba en el cielo. Parlevar no podía sentarse porque tenía una cola como la de un canguro y rodillas que no se plegaban. Al igual que en la anterior, el dios rival Dromerdeener acudió al rescate. Le proporcionó a Parlevar unas rodillas apropiadas y le cortó la cola, rellenando el hueco con grasa. Parlevar llegó después a Tasmania andando por la carretera del cielo (la Vía Láctea).



Las tribus hebreas de Oriente Medio tenían un único dios, al que consideraban superior a los dioses de las tribus rivales. Tenía varios nombres, pero no les estaba permitido decirlos. Ese dios creó al primer hombre con polvo y le llamó Adán (que significa «hombre»).

Hizo a Adán deliberadamente a su imagen y semejanza. De hecho, la mayoría de los dioses de la Historia se representan como hombres (a veces como mujeres), normalmente de un tamaño gigante y siempre con poderes sobrenaturales.

Ese dios colocó a Adán en un magnífico jardín llamado Edén, lleno de árboles cuyos frutos insistió en que comiera; de todos menos de uno. Ese árbol prohibido era el «árbol del conocimiento del bien y del mal», y el dios dejó claro a Adán que no debía comer jamás su fruto.

Después el dios se dio cuenta de que Adán podía encontrarse muy solo, y quiso hacer algo al respecto. Sobre ese punto —igual que en la historia de Dromerdeener y Moinee— hay dos versiones del mito, ambas basadas en el libro del Génesis de la Biblia. En la versión más pintoresca, Dios creó a todos los animales como ayudantes de Adán, y después decidió que aún faltaba algo: ¡una mujer! Así que le proporcionó a Adán una anestesia general, le abrió el pecho, le sacó una costilla y volvió a cerrarlo. Después creó a una mujer a partir de la costilla, igual que hacemos crecer una flor a partir de un tallo cortado. La llamó Eva y se la mostró a Adán como su esposa.

Desafortunadamente, en ese jardín había una serpiente maligna que se acercó a Eva y la persuadió para que le diera a Adán la fruta prohibida del árbol del conocimiento del bien y del mal. Adán y Eva comieron la fruta y de golpe se dieron cuenta de que estaban desnudos.

Esto les perturbó, y se fabricaron taparrabos con hojas de higuera. Cuando Dios comprobó lo que había pasado se enfureció con ellos

por comer la fruta y adquirir conocimiento, perdiendo su inocencia, supongo. Les expulsó del jardín y les condenó a ellos y a todos sus descendientes a una vida de penurias y dolor. Hasta el día de hoy, la historia de la terrible desobediencia de Adán y Eva sigue tomándose en serio por mucha gente, con el nombre de «pecado original» Algunas personas incluso creen que hemos heredado ese «pecado original» de Adán (aunque muchos de ellos ¡admiten que Adán nunca existió!) y comparten su culpa.



Los nativos de Escandinavia, los famosos navegantes vikingos, tenían muchos dioses, igual que los griegos y los romanos. El nombre de su dios principal era Odín, llamado a veces Wotan o Woden, de cuyo nombre procede nuestro miércoles («Wednesday», en inglés). El jueves («Thursday», en inglés) proviene de otro dios

nórdico, Thor, el dios del trueno, que creaba golpeando su potente martillo.

Odín y sus hermanos, dioses también, encontraron un día dos troncos en la costa.

Uno de esos troncos lo convirtieron en el primer hombre, al que llamaron «Ask», y el otro lo convirtieron en la primera mujer, a la que llamaron «Embla». Una vez creados los cuerpos del primer hombre y la primera mujer, los dioses hermanos les dieron un soplo de vida, seguido por la conciencia, las caras y el don del habla.

¿Por qué troncos de árboles?, me pregunto. ¿Por qué no carámbanos de hielo o dunas de arena? ¿No os resulta fascinante preguntaros quién creó esas historias y por qué? Presumiblemente, los inventores originales de todos estos mitos sabían que eran ficciones en el momento en el que los crearon. ¿O creéis que mucha gente diferente aportó distintas partes de las leyendas, en distintos momentos de la Historia y en distintos lugares, y que otra gente más tarde las juntó, quizá cambiando algunas, sin darse cuenta de que todas las piezas estaban inventadas desde el principio?

Las historias son divertidas, y nos encanta repetir las. Pero cuando escuchamos una historia curiosa, tanto si es un mito antiguo como si es una «leyenda urbana» moderna que corre por Internet, merece la pena preguntarse si toda ella —o alguna parte de la misma— es cierta. Así que hagámonos la pregunta — ¿quién fue la primera persona?— y echemos un vistazo a la verdad, a la respuesta científica.

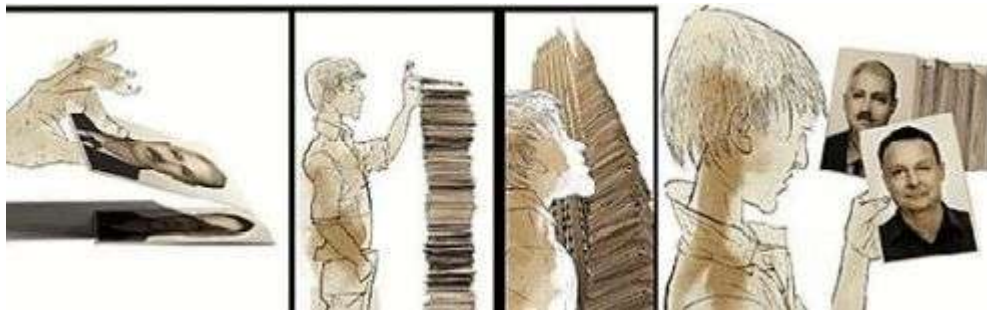
§. ¿Quién fue *realmente* la primera persona?

Puede que esto te sorprenda, pero nunca hubo una primera persona, porque todas las personas tienen que tener padres, y dichos padres ¡también tienen que ser personas! Lo mismo ocurre con los conejos. Nunca hubo un primer conejo; nunca hubo un primer cocodrilo; nunca, una primera libélula. Todas las criaturas que alguna vez han nacido pertenecían a la misma especie que sus padres (quizá con un número muy pequeño de excepciones que ignoraré de momento) Esto significa que todas las criaturas que han nacido alguna vez pertenecían a la misma especie que sus abuelos. Y sus bisabuelos. Y sus tatarabuelos. Y así sucesivamente.

¿Desde siempre? Bueno, no es tan sencillo como eso. Esto va a necesitar cierta explicación, y comenzaré con un experimento mental. Un experimento mental es un experimento en tu imaginación. Lo que vamos a imaginar no es literalmente posible porque nos va a hacer retroceder en el tiempo hasta mucho antes de haber nacido. Pero vamos a imaginarlo porque nos enseñará algo muy importante. Por tanto, aquí va nuestro experimento mental. Todo lo que tienes que hacer es imaginarte a ti mismo siguiendo estas instrucciones.

Busca una foto tuya. Ahora coge una foto de tu padre y colócala encima. Después busca una foto de su padre, es decir, tu abuelo. Después coloca encima una foto de su padre, tu bisabuelo. Puede que no hayas conocido a ninguno de tus bisabuelos. Yo no conocí a los míos, pero sé que uno fue maestro rural; otro, un médico rural; otro, un guardia forestal en la India británica y otro, un abogado al

que le encantaba la nata y que murió en una escalada, siendo ya un anciano. Aun así, aunque no sepas qué aspecto tenía el padre del padre de tu padre, puedes imaginarlo como una especie de figura enigmática, quizá en una fotografía sepia con marco de cuero. Ahora haz lo mismo con su padre, tu tatarabuelo. Y sigue apilando fotos unas encima de otras, retrocediendo más y más generaciones. Puedes retroceder incluso antes de que se inventara la fotografía: al fin y al cabo se trata de un experimento mental.



¿Cuántos antepasados necesitamos para nuestro experimento mental? Pues con tan solo unos 185 millones, más o menos, nos saldrá bien.

¿Tan solo?

¿TAN SOLO?

No es fácil imaginar una torre de 185 millones de fotografías. ¿Qué altura tendría? Bueno, si cada fotografía estuviera impresa en una tarjeta postal, 185 millones de fotos formarían una torre de unos 6705 metros de altura, es decir, más de 180 rascacielos neoyorquinos colocados uno encima del otro. Demasiado alto para escalarlo, incluso suponiendo que no se cayera (lo que seguramente

sucedería) Así que manejemos esto con seguridad y coloquemos las imágenes a lo largo de un único estante.

¿Qué longitud tendría ese estante?

Algo más de 63 kilómetros.

En el extremo más cercano de esa fila está tu foto. En el extremo contrario está la foto de tu antepasado de hace 185 millones de generaciones. ¿Qué aspecto tendrá? ¿El de un anciano de pelo ralo y patillas blancas? ¿Un cavernícola vestido con piel de leopardo? Olvida todo eso. No sabemos exactamente qué aspecto tendría, pero los fósiles pueden darnos una imagen muy cercana. Tu antepasado de hace 185 millones de generaciones tenía un aspecto similar a éste.



Sí, es cierto. Tu abuelo de hace 185 millones de generaciones era un pez. También tu abuela de hace 185 millones de generaciones lo era, si no fuese así no podrían haberse reproducido y tú no estarías aquí.

Paseemos ahora por nuestro estante de retratos de 63 kilómetros, examinando una por una las fotografías. Cada imagen muestra una criatura que pertenece a la misma especie de las que tiene a los lados. Cada una es muy similar a sus vecinas en la línea, o al menos tan parecida como la mayoría de los hombres se parecen a su padre y a su hijo. Pero si caminas desde el principio hasta el final de esa fila, verás un humano en un extremo y un pez en el

otro. Y muchos otros tataratataras... muy interesantes entre medias, que tal como veremos enseguida, incluyen animales que parecen simios antiguos; otros que parecen monos; otros que parecen musarañas, *etc.* Cada uno de ellos es igual a sus vecinos de estante, pero si coges dos bien distantes en la línea verás que son muy distintos, y si retrocedes desde los humanos hacia atrás lo suficiente, llegarás a ver un pez. ¿Cómo es posible?

De hecho, no es tan difícil de entender. Hemos ido sufriendo cambios graduales, que pasito a pasito, uno detrás de otro, han generado un gran cambio. Tú fuiste una vez un bebé y ahora ya no lo eres. Cuando seas mayor volverás a ser distinto. Pero cada día de tu vida, cuando te levantas, eres la misma persona que se fue a la cama la noche anterior. Un bebé se convierte en un niño, después en un adolescente, después en un joven, después en un hombre de mediana edad y después en un anciano. Y el cambio ocurre de forma tan gradual que nunca hay un día en el que puedas decir «esta persona acaba de pasar de ser un bebé a ser un niño». Y del mismo modo nunca podrás decir «esta persona ha dejado de ser un niño y se ha convertido en un adolescente», como tampoco habrá un día en el que puedas decir «ayer este hombre era de mediana edad: hoy es un anciano».

Esto nos ayuda a entender nuestro experimento mental, que nos ha hecho retroceder 185 millones de generaciones de padres abuelos y bisabuelos, hasta encontrarnos cara a cara con un pez. Y si hacemos el recorrido en sentido contrario, lo mismo le ocurrió a tu antepasado el pez, que tuvo un pececito, que a su vez tuvo otro

pececito... que 185 millones de generaciones después (cada vez con menos aspecto de pez) acabaste siendo tú.

Pero todo ha sido muy gradual, tanto que no podrás notar ningún cambio si retrocedes mil años; o incluso 10.000 años, lo que sería alrededor de 400 generaciones atrás. O quizá puedas notar miles de cambios pequeños por el camino, porque nadie es exacto a su padre. Pero es imposible detectar ninguna tendencia general. 10 000 años antes de los humanos modernos no es tiempo suficiente para mostrar una tendencia. El retrato de tu ancestro de hace 10 000 años no sería muy distinto al de la gente actual, si olvidamos diferencias superficiales en la ropa, el pelo o las patillas. No sería más distinto a nosotros de lo que la gente contemporánea es entre sí.

¿Y si retrocedemos 100 000 años, donde encontraríamos a tu antepasado de 4000 generaciones atrás? Bueno, quizá ahora podríamos detectar un cambio visible. Tal vez un cráneo ligeramente más grueso, sobre todo bajo las cejas. Pero seguiría siendo algo muy leve. Retrocedamos aún más en el tiempo. Si caminas hasta hace un millón de años en esa fila, la fotografía de tu ancestro de hace 50 000 generaciones será suficientemente distinta como para considerarlo de una especie distinta, la que denominamos *Homo erectus*. Actualmente, como bien sabes, somos *Homo sapiens*. El *Homo erectus* y el *Homo sapiens* probablemente no habrían sido capaces de reproducirse entre sí; e incluso si lo hubieran hecho, el bebé resultante no habría podido tener hijos; del mismo modo que una mula, que es una mezcla de padre burro y madre yegua, es

también incapaz de tener descendencia. (En el próximo capítulo veremos el porqué).

De nuevo, todo es gradual. Tú eres *Homo sapiens* y tu antepasado de 50 000 generaciones atrás era *Homo erectus*. Pero nunca hubo un *Homo erectus* que de pronto diera a luz a un bebé *Homo sapiens*.



Por tanto, la pregunta de quién fue la primera persona y cuándo vivió no tiene una respuesta precisa. Es algo confuso, como la respuesta a la pregunta de cuándo dejaste de ser un bebé y te convertiste en un niño. En algún momento, probablemente hace menos de un millón de años pero más de 100 000, nuestros ancestros fueron suficientemente distintos de nosotros como para que una persona actual no pudiera engendrar descendencia con ellos.

Otra cosa es si debemos o no calificar a los *Homo erectus* como personas, humanos. Es cuestión de cómo utilizamos las palabras, lo que se denomina una cuestión semántica. Algunas personas preferirían llamar a una cebra «caballo rayado», pero otras prefieren mantener la palabra «caballo» para las especies a las que montamos. Se trata de otra cuestión semántica. Puede que tú prefieras usar las palabras «persona», «hombre» y «mujer» para los *Homo sapiens*. Eso es cosa tuya. No obstante, nadie querría llamar a tu ancestro de hace 185 millones de generaciones «hombre». Sería estúpido, incluso aunque haya una cadena continua de enlaces entre él y tú, en la que cada eslabón es un miembro de la misma especie que sus eslabones vecinos en dicha cadena.

§. Convertidos en piedra

Ahora bien, ¿cómo sabemos qué aspecto tenían nuestros antepasados más lejanos? ¿Y cómo sabemos cuándo vivieron? Principalmente, gracias a los fósiles. Todas las fotografías de tus antepasados que aparecen en este capítulo son reconstrucciones basadas en fósiles, pero coloreadas para compararlas con los animales modernos.

Los fósiles están hechos de piedra. Son piedras que han creado su forma a partir de animales o plantas muertos. La gran mayoría de los animales murieron sin posibilidad de convertirse en fósiles. El truco, si quieres convertirte en un fósil, es enterrarte en el tipo de barro o cieno adecuado, el tipo que podría llegar a formar una «roca sedimentaria».



¿Qué significa esto? Las rocas son de tres tipos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Ignoraremos las rocas metamórficas porque originalmente eran de uno de los otros dos tipos, ígneas o sedimentarias, y cambiaron por causa de la presión y/o del calor. Las rocas ígneas (del latín «ignis», fuego) se fundieron en algún momento, igual que la lava caliente que vemos salir de los volcanes, y se solidificaron en rocas duras cuando se enfriaron. Las rocas duras, de cualquier tipo, se erosionan por el viento o por el agua y se convierten en rocas más pequeñas, en piedras, en arena y en polvo. La arena o el polvo se disuelven en el agua y después se van a

depositando en capas de sedimentos o fango en el fondo de los mares, lagos y ríos. Pasado un período de tiempo muy largo, los sedimentos pueden endurecerse para formar capas (o estratos) de rocas sedimentarias. Aunque todos los estratos comienzan planos y horizontales, a menudo son agitados, elevados o retorcidos, y así los vemos millones de años más tarde (en el Capítulo 10, el de los terremotos, explicaremos este proceso con más detalle).

Supón ahora que un animal muerto queda atrapado en el barro, quizá en un estuario. Si ese barro termina convirtiéndose en una roca sedimentaria, puede que el cuerpo del animal se pudra dejando en la roca una huella impresa con su forma, que es lo que solemos encontrar ahora. Ese es un tipo de fósil, un tipo de imagen «en negativo» del animal. O la huella impresa puede actuar como molde en el que caen nuevos sedimentos, formando más tarde una réplica «en positivo» del exterior del cuerpo del animal. Ese es un segundo tipo de fósil. Y aún existe un tercer tipo de fósil en el que los átomos y las moléculas del cuerpo del animal, uno por uno, han sido reemplazados por átomos y moléculas de minerales procedentes del agua, que más tarde se cristalizan para formar una roca. Este es el mejor tipo de fósiles porque, con suerte, reproducen hasta el detalle más pequeño del interior del animal dentro del fósil.

Los fósiles pueden incluso datarse. Podemos determinar su antigüedad, sobre todo midiendo los isótopos radiactivos de las rocas. En el Capítulo 4 aprenderemos lo que son los isótopos y los átomos. De momento basta decir que un isótopo radiactivo es un tipo de átomo que se descompone en un tipo de átomo diferente: por

ejemplo, uno denominado uranio-238 se convierte en uno llamado plomo-206. Como sabemos el tiempo que tarda esto en ocurrir, podemos ver el isótopo como un reloj radiactivo. Los relojes radiactivos son algo así como los relojes de agua y los relojes de vela que la gente utilizaba antes de que se inventaran los relojes de péndulo. Un tanque lleno de agua con un agujero en el fondo se vacía a una velocidad medible. Si el tanque estaba lleno hasta el borde, podemos determinar qué parte del día ha pasado midiendo el nivel actual del agua. Lo mismo ocurría con los relojes de vela. Las velas se consumen a una velocidad fija, de forma que si medimos cuánta vela nos queda, podemos determinar cuánto tiempo lleva ardiendo. En el caso del reloj de uranio-238, sabemos que tarda 4500 millones de años en convertirse en plomo-206. Esto es lo que se denomina la «vida media» del uranio-238. De esta forma, al medir cuánto plomo-206 hay en una piedra y compararlo con la cantidad de uranio-238, podemos calcular cuánto tiempo ha pasado desde que no había nada de plomo-206 y todo era uranio-238: cuánto tiempo, en otras palabras, desde que el reloj se puso a cero.

¿Y cuándo se puso a cero el reloj? Bueno, eso solo ocurre con las rocas ígneas, cuyos relojes se pusieron a cero en el momento en el que la roca fundida pasó a convertirse en sólida. Esto no funciona con las rocas sedimentarias, que no tienen ese «momento cero», y es una lástima porque los fósiles se encuentran únicamente en rocas sedimentarias.



Por tanto, debemos buscar rocas ígneas cerca de las capas sedimentarias y utilizarlas como nuestros relojes. Por ejemplo, si un fósil está en un sedimento que se encuentra debajo de rocas ígneas de 120 millones de años de antigüedad y encima de rocas ígneas de 130 millones de años de antigüedad, sabremos que el fósil tiene entre 120 y 130 millones de años. Así es más o menos como se datan, aunque no hay que tomarlo con demasiada precisión.

El uranio-238 no es el único isótopo radiactivo que podemos utilizar como reloj. Existen muchos otros, con un amplio abanico de vidas medias. Por ejemplo, el carbono-14 tiene una vida media de solo 5730 años, lo que lo convierte en muy útil para los arqueólogos que

estudian la historia humana. Es magnífico que muchos de los distintos relojes radiactivos tengan escalas de tiempo que se solapan, de forma que los podemos utilizar para contrastar unos con otros. Y siempre coinciden.

El reloj de carbono-14 funciona de forma distinta a los demás. No necesita rocas ígneas, sino que utiliza los restos de los cuerpos vivos, por ejemplo, la madera antigua. Es uno de nuestros relojes radiactivos más rápidos, pero 5730 años sigue siendo mucho más tiempo que la vida humana, de manera que cabría preguntarse cómo sabemos que esa es la vida media del carbono-14, ¡y del uranio-238 ni te cuento! La respuesta es sencilla. No tenemos que esperar a que la mitad de los átomos se descompongan. Podemos medir la tasa de descomposición de una pequeña parte de los átomos y deducir de ahí su vida media (o la cuarta, o la centésima, etc.).

§. Regreso en el tiempo

Hagamos ahora otro experimento mental. Coge a unos cuantos amigos y meteos en una máquina del tiempo. Enciende el motor y retrocede 10 000 años. Abre la puerta y echa un vistazo a la gente que veas. Si resulta que aterrizáis en lo que ahora es Irak, estarán en el proceso de inventar la agricultura. En muchos otros lugares aún serán «cazadores recolectores», desplazándose de un lugar a otro, cazando animales salvajes y recolectando bayas, frutos secos y raíces. Serás incapaz de entender lo que hablan y sus ropas serán muy distintas, si es que llevan alguna. No obstante, si los vistieras

con ropa moderna y les arreglases el pelo sería imposible distinguirlos de la gente actual (o igual de difícil que distinguir a unos individuos actuales de otros). Y serán perfectamente capaces de reproducirse con cualquiera de las personas modernas que viajan a bordo de tu máquina del tiempo.

Ahora elige de entre ellos un voluntario (quizá tu antepasado de 400 generaciones atrás, porque ese es aproximadamente el tiempo en el que vivió), súbelo a tu máquina del tiempo y retroceded otros 10 000 años: hasta hace 20 000 años, donde podrás conocer a tus antepasados de hace 800 generaciones. Esta vez solo encontrarás cazadores-recolectores, pero de nuevo sus cuerpos serán como los de los humanos modernos, y de nuevo perfectamente capaces de reproducirse con la gente actual y de engendrar hijos fértiles. Mete a uno de ellos en tu máquina del tiempo y retroceded otros 10 000 años. Sigue haciendo lo mismo, saltar de 10 000 en 10 000 años, y en cada parada recoge a un pasajero y llévalo hacia el pasado.

El caso es que quizá, después de un montón de saltos de 10 000 en 10 000 años, tal vez cuando hayáis retrocedido un millón de años, empezarás a notar que la gente que te encuentras es distinta de nosotros, y que no pueden reproducirse con aquellos que entraron contigo en la máquina al principio. Pero sí serán capaces de reproducirse con los últimos pasajeros que subieron, que son prácticamente igual de antiguos que ellos.

Simplemente estoy diciendo lo mismo que antes —el cambio gradual es imperceptible, como el movimiento de la aguja de las horas en un reloj—, pero utilizando un experimento diferente. Merece la pena

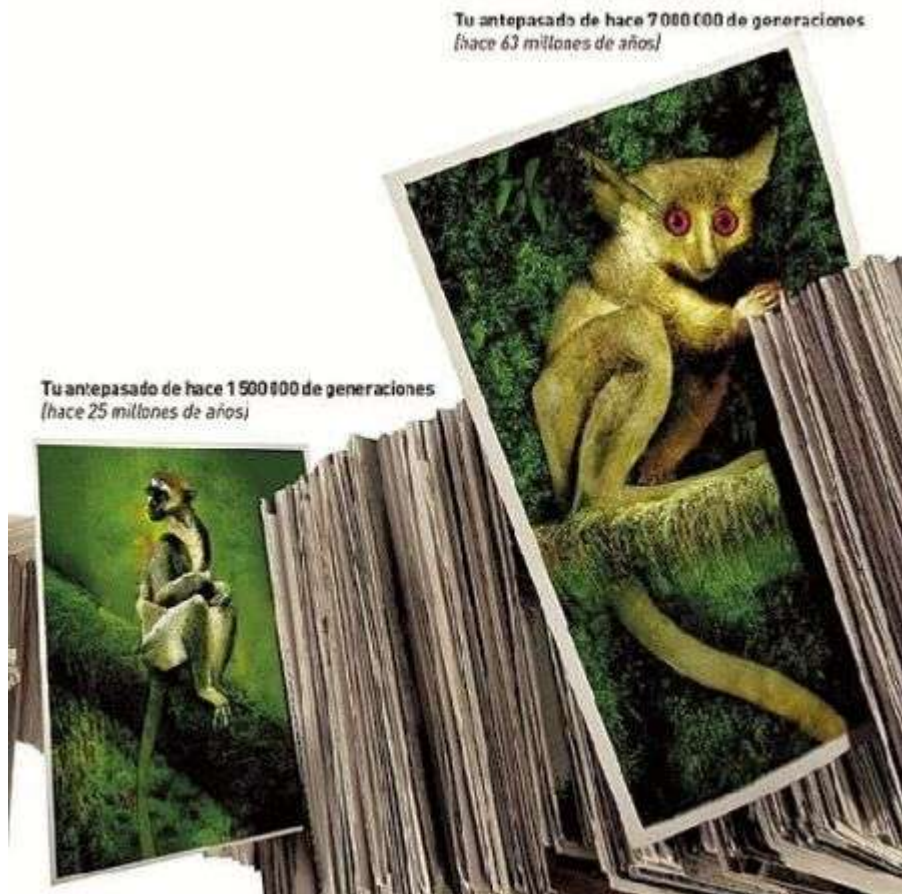
explicarlo de dos formas diferentes porque es muy importante, y aun así —aunque parezca increíble— muy difícil de entender para algunas personas.

Retomemos nuestro viaje al pasado y observemos alguna de las estaciones intermedias camino del magnífico pez. Supón que has llegado en tu máquina del tiempo a la estación llamada «Hace 6 millones de años». ¿Qué te vas a encontrar allí? Suponiendo que estés en África, encontrarás a tus antepasados de hace 250 000 generaciones (más o menos) Serán simios y tendrán un aspecto similar a los chimpancés. Pero no son chimpancés. Son los ancestros que compartimos con los chimpancés. Son demasiado distintos a nosotros para poder reproducirnos y demasiado distintos a los chimpancés para hacerlo con ellos. Pero serán capaces de reproducirse con los pasajeros que subieron a la máquina en la estación «Hace 5 990 000 años». Y probablemente también con los de la estación «Hace 5 900 000 años», aunque no con los que subieron en la estación «Hace 4 millones de años».



Volvamos otros 10 000 años atrás y sigamos retrocediendo hasta alcanzar la estación «Hace 25 millones de años». Ahí encontraremos a tu antepasado (y el mío) de hace millón y medio de generaciones, más o menos. No será un simio, porque tiene cola. Lo llamaríamos mono si lo viéramos a día de hoy, pero no está más emparentado con los monos actuales de lo que lo está con nosotros. Aunque muy distinto de nosotros, e incapaz también de reproducirse con nosotros o con los monos modernos, sí podría hacerlo fácilmente con los pasajeros que subieron en la estación «Hace 24 999 000 años». Es un cambio gradual, siempre gradual.

Así seguimos, retrocediendo de 10 en 10 milenios, sin encontrar cambios importantes entre parada y parada. Detengámonos ahora para ver con quién nos encontramos en la estación «Hace 63 millones de años». Aquí podremos darle la mano (¿o la zarpa?) a nuestros ancestros de hace 7 millones de generaciones. Su aspecto será similar al de los lémures o los gálagos, y también serán ancestros de todos los lémures y gálagos modernos, y ancestros de los monos modernos y de los simios, nosotros entre ellos.



Están emparentados con los humanos modernos igual que con los monos modernos, y también igual que con los lémures modernos.

En ningún caso podrían reproducirse con cualquiera de estos animales modernos. Pero sí que podrían hacerlo con los pasajeros que subieron en la estación «Hace 62 999 000 años». Démosles la bienvenida a bordo de nuestra máquina del tiempo y sigamos avanzando hacia atrás.

En la estación «Hace 105 millones de años» encontraremos a nuestro ancestro de hace 45 millones de generaciones. También es el ancestro de todos los mamíferos modernos, excepto de los marsupiales (que ahora se encuentran principalmente en Australia y unos pocos en América) y los monotremas (ornitorrincos y osos hormigueros que en la actualidad solo habitan en Australia y Nueva Guinea). El dibujo nos lo muestra con su comida favorita —un insecto— en la boca. Está igual de emparentado con todos los mamíferos modernos, aunque quizá se parece un poco más a unos que a otros.

En la estación «Hace 310 millones de años» nos encontraremos a nuestra antepasada de 170 millones de generaciones atrás. Es la antepasada de todos los mamíferos modernos, de todos los reptiles modernos —serpientes, lagartos, tortugas y cocodrilos— y de todos los dinosaurios (incluyendo a los pájaros, porque los pájaros proceden de los dinosaurios) Está igual de emparentada con todos los animales modernos, aunque parezca más bien una lagartija. Lo que esto significa es que las lagartijas han cambiado menos desde aquella época de lo que lo han hecho, por ejemplo, los mamíferos.



Como experimentados viajeros en el tiempo que somos, no nos queda demasiado para llegar al pez que mencioné al principio. Hagamos una nueva parada en el camino: en la estación «Hace 340 millones de años», donde encontraremos a nuestro antepasado de 175 millones de generaciones atrás. Se parece a un tritón, y es el ancestro de todos los anfibios modernos (ranas y tritones) y del resto de vertebrados terrestres.

Seguiremos así hasta la estación «Hace 417 millones de años» y encontraremos a nuestro antepasado de 185 millones de generaciones atrás, el pez de la página 40. Desde ahí podríamos seguir retrocediendo en el tiempo y encontrar más y más

antepasados distantes, incluyendo distintos tipos de peces con mandíbulas, después peces sin mandíbulas y después... bueno, después nuestro conocimiento empieza a diluirse en una especie de niebla de la incertidumbre, porque tan atrás en el tiempo apenas tenemos fósiles.



§. El ADN nos indica que todos somos primos

Aunque apenas disponemos de fósiles que nos digan exactamente qué aspecto tenían nuestros antepasados más antiguos, no tenemos ninguna duda de que todas las criaturas vivientes son nuestros primos, y primos a su vez entre sí. Y también sabemos qué animales

modernos son primos más cercanos de otros (como los humanos y los chimpancés o las ratas y los ratones) y cuáles son primos más lejanos (como los humanos y los cucos, o los ratones y los cocodrilos). ¿Cómo lo sabemos? Comparándolos de forma sistemática. A día de hoy, la prueba más fiable es la comparación de su ADN.

El ADN es la información genética que todas las criaturas vivas acarrearán en cada una de sus células. El ADN está deletreado en unas larguísimas «cintas» de datos en espiral denominadas «cromosomas». Estos cromosomas son algo parecido a las cintas de datos que usábamos en los ordenadores antiguos, porque la información que acarrearán es digital y se guarda en orden secuencial. Están formados por largas cadenas de «letras» de código que podemos contar: cada letra está o no está; no hay término medio. Eso es lo que las convierte en digitales, y por eso digo que el ADN está «deletreado».

Todos los genes, de todos los animales, plantas y bacterias estudiados, son mensajes codificados que explican cómo se construye esa criatura, escritos en un alfabeto estándar. El alfabeto solo tiene cuatro letras entre las que elegir (a diferencia de las 26 letras del alfabeto inglés), y las escribimos como A, T, C y G. Los mismos genes están en distintas criaturas, con algunas diferencias relevantes. Por ejemplo, hay un gen llamado FoxP2 que comparten todos los mamíferos y muchas otras criaturas. El gen es una cadena de más de 2000 letras. En la parte inferior de esta página se muestra un trozo breve de 80 letras de alguna parte de FoxP2, de la

letra número 831 a la letra número 910. La fila superior pertenece a un humano; la del medio, a un chimpancé, y la última, a un ratón. Los números al final de las dos filas inferiores muestran cuántas letras del gen completo son diferentes de las del FoxP2 humano.



Podríamos decir que el FoxP2 es el mismo gen en todos los mamíferos porque la gran mayoría de las letras del código son las mismas, y esto es cierto también en la mayor parte de la longitud del gen, no solo en estas 80 letras. Casi todas las del chimpancé son las mismas que las nuestras, y algo menos las del ratón. Las diferencias están marcadas en rojo. De las 2076 letras de FoxP2, el chimpancé tiene nueve letras diferentes a las nuestras, mientras que el ratón tiene 139 diferentes. Y el patrón se repite también para

otros genes. Esto explica por qué los chimpancés son muy similares a nosotros, mientras que los ratones lo son menos.

Los chimpancés son nuestros primos más cercanos, los ratones son nuestros primos más lejanos. «Primos lejanos» significa que el ancestro más reciente que compartimos con ellos vivió hace mucho tiempo. Los monos son más cercanos a nosotros que los ratones, pero más lejanos que los chimpancés. Los macacos y los babuinos son monos, primos cercanos entre sí, y con genes FoxP2 prácticamente idénticos. La distancia de ambos con los chimpancés es exactamente la misma que con nosotros; y el número de letras del ADN de FoxP2 que difiere entre babuinos y chimpancés es prácticamente el mismo (24) que el número de letras que separa a los babuinos de nosotros (23) Todo encaja.

Y para acabar de fijar esta idea, las ranas son primas mucho más lejanas de los mamíferos. Todos los mamíferos tienen aproximadamente el mismo número de letras distintas a las de una rana, por el simple motivo de que son exactamente igual de cercanos entre sí: todos los mamíferos comparten un ancestro común más reciente (de hace unos 180 millones de años) del que comparten con la rana (de hace unos 340 millones de años).

Pero por supuesto no todos los humanos son iguales a otros humanos, ni todos los babuinos son iguales a otros babuinos, ni todos los ratones son iguales a otros ratones. Podríamos comparar tus genes con los míos, letra a letra. ¿Cuál sería el resultado? Descubriríamos que tenemos muchas más letras en común que cualquiera de nosotros con un chimpancé. Pero aún encontraríamos

algunas letras distintas. No demasiadas, y no necesariamente en el gen FoxP2. Pero si contaras el número de letras que todos los humanos compartimos en todos nuestros genes, serían más de las que cualquiera de nosotros compartimos con un chimpancé. Y tú compartes más letras con tu primo que conmigo. Y aún más letras con tu madre y con tu padre, y (si los tienes) con tu hermano o con tu hermana. De hecho, para saber lo cercanas que son dos personas puedes contar el número de letras del ADN que comparten. Resulta un conteo interesante y es algo de lo que probablemente oigamos hablar más en el futuro. Por ejemplo, la policía será capaz de localizar a alguien si tienen la «huella dactilar» del ADN de su hermano.

Algunos genes son visiblemente iguales (con mínimas diferencias) en todos los mamíferos. Contar el número de diferencias de letras en esos genes es útil para descubrir lo cercanos que estamos unas especies de mamíferos de otros. Otros genes son útiles para detectar relaciones más distantes, por ejemplo, entre vertebrados y gusanos. Otros genes resultan útiles para detectar relaciones dentro de la misma especie, por ejemplo, para saber lo cercanos que somos tú y yo. Si te interesa —y tus orígenes están en Inglaterra—, nuestro antepasado común más reciente probablemente vivió solo hace unos cuantos siglos. Si eres nativo de Tanzania o indio nativo americano, tendríamos que retroceder algunas decenas de miles de años para encontrar un antecesor común. Si eres un Kung San del desierto del Kalahari, quizá tendríamos que retroceder aún más.

Lo que sí es un hecho indudable es que compartimos un antepasado común con todas las demás especies de animales y plantas del planeta. Lo sabemos porque algunos genes son idénticos en todas las criaturas vivientes, incluyendo los animales, las plantas y las bacterias. Y por encima de todo, el propio código genético —el diccionario con el que se traducen todos los genes— es el mismo en todas las criaturas que hayan vivido alguna vez. Todos somos primos.



En tu árbol genealógico no solo están tus primos más cercanos, como los chimpancés y el resto de monos; también los ratones, los

búfalos, las iguanas, los walabíes, los dientes de león, los caracoles, las águilas reales, los champiñones, los uombats, las ballenas y las bacterias. Todos son primos tuyos. Hasta el último de ellos. ¿No es eso mucho más maravilloso que cualquier mito? Y lo mejor de todo es que sabemos con seguridad que es literalmente cierto.

Capítulo 3

¿Por qué hay tantos tipos diferentes de animales?



Contenido:

§. *¿Por qué hay realmente tantos tipos distintos de animales?*

§. *Vayamos por partes: cómo se dividen los idiomas y las especies*

§. *Islas y aislamiento: el poder de la separación*

§. *Movimientos, selección y supervivencia*

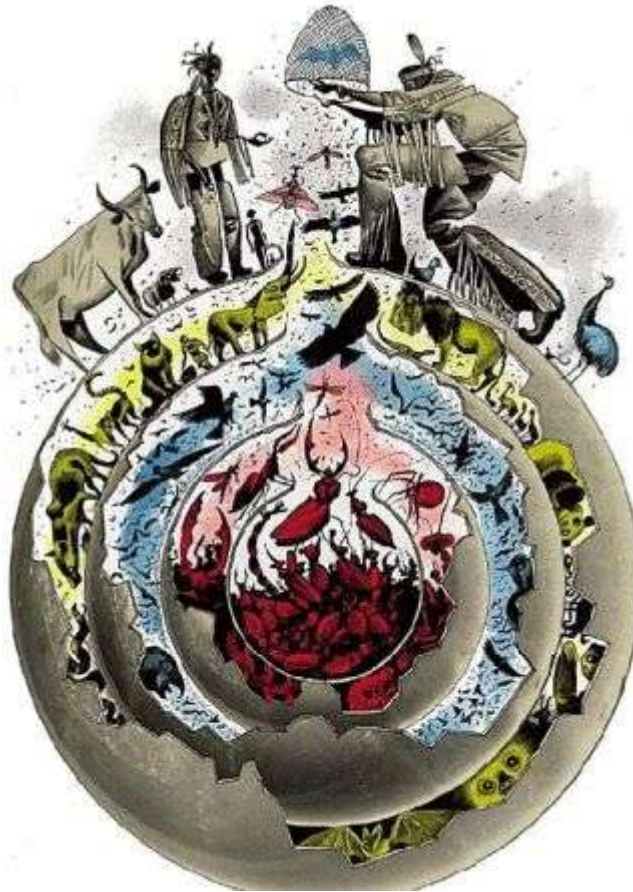
Hay muchos mitos que tratan de explicar por qué ciertos tipos de animales son como son —mitos que «explican» cosas como por qué los leopardos tienen motas y por qué los conejos tienen cola—. Pero no parece que haya muchos mitos sobre el amplio rango y variedad de distintos tipos de animales. No he logrado encontrar nada similar

al mito judío de la torre de Babel, que explica la gran variedad de idiomas. Erase una vez —según reza este mito— que toda la gente del mundo hablaba el mismo idioma. Por tanto, podían trabajar de forma armoniosa para construir una gran torre con la que esperaban alcanzar el cielo. Dios se enteró de ello y no le gustó que todo el mundo se entendiera con todo el mundo. ¿Hasta dónde serán capaces de llegar si pueden hablar todos con todos y trabajar juntos? Así que decidió «confundir su idioma» de manera que «no pudieran entenderse entre ellos». Es por eso por lo que, según el mito, hay tantos idiomas distintos, y por lo que cuando la gente intenta hablar con gente de otra tribu o país, su discurso suena casi siempre como un balbuceo incomprensible. Y aunque lo parezca, la palabra «balbuceo» no tiene nada que ver con la torre de Babel.

Esperaba encontrar un mito similar sobre la gran diversidad de animales, porque existe cierta similitud entre la evolución de los idiomas y la evolución de los animales, como veremos después. Pero no parece haber ningún mito que trate específicamente el inexplicable *número de animales distintos* que existen. Resulta sorprendente, porque hay pruebas indirectas de que los pueblos tribales eran conscientes de que hay muchos tipos distintos de animales. En los años veinte del siglo pasado, un científico alemán —muy famoso ahora— llamado Ernst Mayr realizó un estudio pionero de los pájaros de las tierras altas de Nueva Guinea. Logró completar una lista de 137 especies, y después descubrió asombrado que los miembros de la tribu local utilizaban nombres diferentes para 136 de ellas.

Volvamos ahora los mitos. La tribu Hopi de Norteamérica tenía una diosa llamada «Mujer Araña».

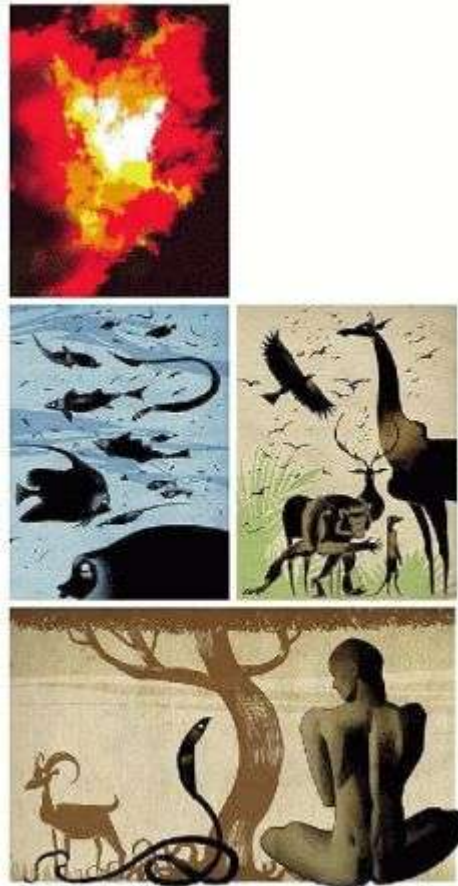
En su mito sobre la creación, la diosa se unió con Tawa, el dios del Sol, y cantaron a dúo la primera canción mágica. Esa canción dio lugar a la Tierra y a la vida. Mujer Araña tomó después los hilos de los pensamientos de Tawa y los tejió hasta darles forma sólida, creando así los peces, los pájaros y el resto de los animales.



Otras tribus norteamericanas, los Pueblo y los Navajo, tienen un mito sobre la vida similar a la idea de la evolución: la vida emergió de la tierra como una planta que nace y crece en una serie de pasos.

Los insectos escalaron desde su mundo, el Primer Mundo o Mundo Rojo, hasta el Segundo Mundo, el Mundo Azul, en el que vivían los pájaros. El Segundo Mundo empezó a estar demasiado abarrotado, así que los pájaros y los insectos volaron hacia el Tercer Mundo o Mundo Amarillo, donde vivían las personas y otros mamíferos. El Mundo Amarillo también se llenó y empezó a escasear la comida, de forma que todos, insectos pájaros y personas, escalaron al Cuarto Mundo, el Mundo Blanco y Negro del día y la noche. Aquí los dioses ya habían creado gente más inteligente que sabía cómo crear granjas en el Cuarto Mundo, y que enseñaron a los recién llegados cómo hacerlo.

El mito judío hace aún más justicia a la diversidad, pero realmente no intenta explicarla. De hecho, el libro sagrado de los judíos tiene dos mitos diferentes para la creación, tal como vimos en el capítulo anterior. En el primero, el dios judío lo creó todo en seis días. El quinto día creó a los peces, las ballenas y todas las criaturas marinas, y también a los pájaros. El sexto día creó al resto de los animales terrestres, incluyendo al hombre. El mito presta cierta atención al número y variedad de criaturas vivas —por ejemplo: «Y creó Dios los grandes monstruos marinos, y todo ser viviente que se mueve, que las aguas produjeron según su género, y toda ave alada según su especie», y creó a «todos los animales de la tierra» y a «todo animal que se arrastra sobre la tierra según su especie»—. Pero ¿por qué tanta variedad? No nos lo dijeron.



En el segundo mito se dan algunas pistas sobre que su dios pudo pensar que el primer hombre necesitaría una compañía variada. Adán, el primer hombre, fue creado solo y colocado en un magnífico jardín. Pero después el dios se dio cuenta de que «no es bueno que el hombre esté solo», y por tanto, «creó a todas las criaturas terrestres y a todas las aves de los cielos; y se los mostró a Adán para que este les diera nombres».

§. ¿Por qué hay realmente tantos tipos distintos de animales?

La tarea de Adán de nombrar a todos los animales fue ardua —más de lo que los antiguos hebreos podrían haber imaginado—. Se

calcula que hay al menos dos millones de especies a las que se ha asignado un nombre científico, y no son más que una pequeña fracción del número total que aún falta por nombrar.



¿Cómo se decide si dos animales pertenecen a la misma especie o a dos especies diferentes? Dado que los animales se reproducen sexualmente, podemos llegar a cierta definición. Los animales pertenecen a distintas especies si no pueden procrear entre ellos. Existen algunos casos fronterizos como el de los caballos y los burros, que pueden procrear, pero engendran animales estériles (llamados mulas), incapaces de reproducirse. Por eso colocamos al caballo y al burro en especies diferentes. Aún más obvio, los caballos y los perros pertenecen a distintas especies porque jamás intentan siquiera reproducirse entre ellos, y no podrían generar descendencia aunque lo hicieran, ni siquiera estéril. Pero los cocker

y los galgos pertenecen a la misma especie porque sí pueden reproducirse, y los cachorros que alumbran también son fértiles.

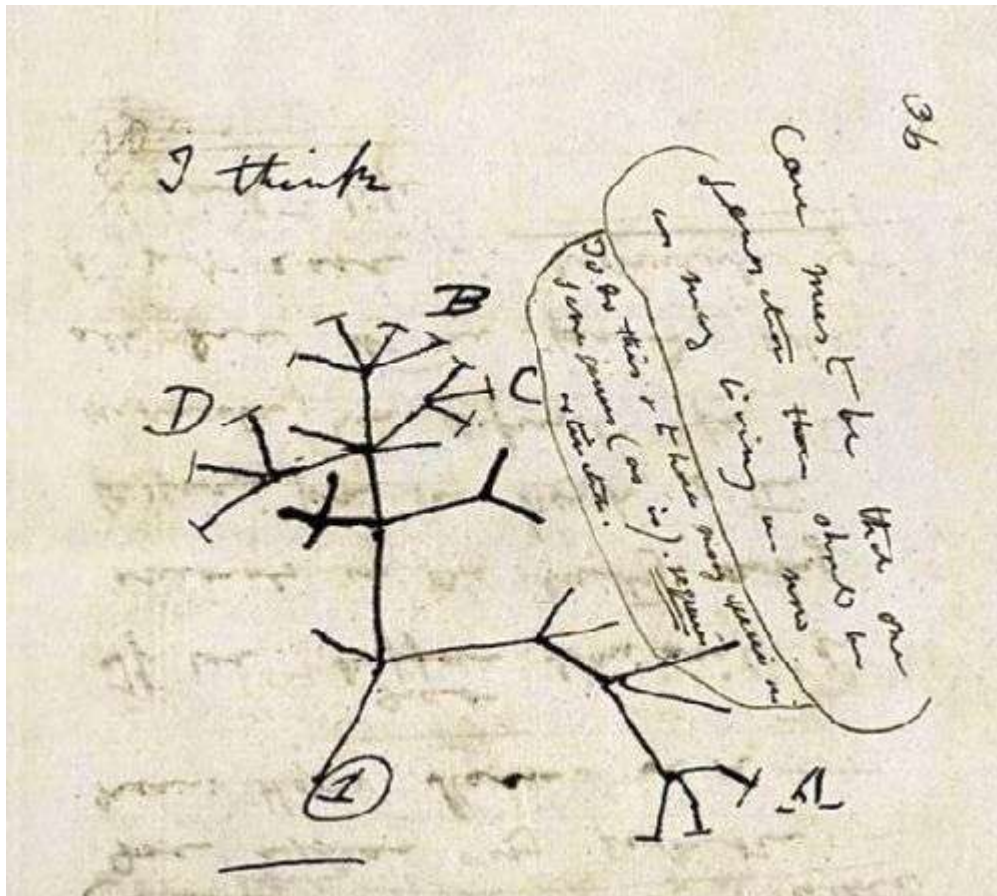
Todos los nombres científicos de animales o plantas están formados por dos palabras en latín, normalmente escritas en *cursiva*. La primera palabra hace referencia al «género» o grupo de especies y la segunda, a la especie concreta dentro de ese género. *Homo sapiens* (hombre sabio) y *Elephas maximus* (elefante muy grande) son un par de ejemplos. Todas las especies pertenecen a algún género. *Homo* es un género. *Elephas* también. El león es *Panthera leo* y el género *Panthera* incluye también al tigre, *Panthera tigris*, al leopardo, *Panthera pardus* y al jaguar, *Panthera onca*. *Homo sapiens* es la única especie superviviente de nuestro género, pero los fósiles han recibido nombres como *Homo erectus* y *Homo habilis*. Otros fósiles de aspecto humano son suficientemente distintos del *Homo* como para colocarlos en otros géneros, por ejemplo, *Australopithecus africanus* y *Australopithecus afarensis* (nada que ver con Australia, por cierto: australo significa «del sur», y de ahí procede también el nombre de Australia).

Cada género pertenece a una *familia*, que suele escribirse en tipografía «normal» con la primera letra en mayúscula. Los gatos (incluyendo leones, leopardos, guepardos, linceos y muchos pequeños felinos) forman la familia Felidae. Cada familia pertenece a un *orden*. Gatos, perros, osos, comadrejas y hienas pertenecen a distintas familias dentro del orden Carnívora. Los monos, los simios (nosotros entre ellos) y los lémures pertenecen a distintas familias

dentro del orden Primates. Y cada orden pertenece a una clase. Todos los mamíferos estamos en la clase Mammalia.

¿Eres capaz de ver la forma de árbol desarrollándose en tu cabeza mientras lees esta descripción de la secuencia de agrupamientos? Es un árbol genealógico: un árbol con muchas ramas, cada una de ellas con subramas, y cada sub rama con más subramas a su vez. El extremo de las ramas más pequeñas son las especies. Los otros agrupamientos —clase, orden, familia y género— son las ramas y subramas. El árbol completo es la totalidad de la vida en la Tierra. Piensa en por qué los árboles tienen tantas ramas. Ramas de otras ramas. Cuando tenemos suficientes ramas de ramas de ramas, el número total de extremos puede ser muy grande. Eso es lo que ha ocurrido en la evolución. El propio Charles Darwin dibujó un árbol con ramas como única imagen en su libro más famoso, *El origen de las especies*. Más abajo puedes ver una primera versión del dibujo del árbol de Darwin que trazó en uno de sus cuadernos algunos años antes. En la parte superior de la página escribió un misterioso y pequeño mensaje para sí mismo: «Pienso». ¿Qué crees que quiso decir? Quizá empezó a escribir una frase y uno de sus hijos le interrumpió y nunca la terminó. Tal vez le resultara más fácil representar rápidamente lo que estaba pensando con este diagrama, en lugar de usar palabras. Quizá nunca lo sepamos. Hay otra anotación a mano en la página, pero es difícil de descifrar. Resulta tentador leer las notas auténticas de un gran científico, escritas en un día en concreto sin intención de ser publicadas.

Aunque no es exactamente así como se ramifica el árbol de los animales, puedes hacerte una idea de ello. Imagina una especie ancestral que se divide en dos especies. Si cada una de ellas se divide luego en otras dos, tendremos cuatro. Si cada una de esas cuatro se divide en dos, tendremos ocho, y después 16, 32, 64, 128, 256, 512... La idea es que si sigues duplicando, muy pronto llegarás a los millones de especies que existen. Quizá sea suficiente con esto, pero tal vez te preguntes por qué una especie tiene que dividirse. Bueno, más o menos por el mismo motivo por el que se dividen los idiomas humanos, así que detengámonos a pensar en ello durante un momento.



§. Vayamos por partes: cómo se dividen los idiomas y las especies

Aunque, obviamente, la leyenda de la torre de Babel no es cierta, nos permite plantearnos la interesante cuestión de por qué hay tantos idiomas diferentes.

Igual que las especies que más se parecen están ubicadas en la misma familia, también hay familias de idiomas. El español, el italiano, el portugués, el francés y muchos otros idiomas y dialectos europeos como el romanche, el gallego, el occitano y el catalán son muy similares entre sí; todos juntos forman lo que se denominan «lenguas romances». Este nombre procede de su origen común, el latín, el idioma de Roma (no de nada que tenga que ver con otro tipo de «romances»), pero utilicemos una expresión de amor como ejemplo. Dependiendo de en qué país te encuentres, podrán declarar tus sentimientos de una de estas maneras: «Ti amo», «Amote», «T'aimi» o «Je t'aime». En latín sería «Te amo», exactamente igual que en español moderno.

Para expresarle tu amor a alguien en Kenia, Tanzania o Uganda podrías decirle, en swahili, «Nakupenda». Algo más al sur, en Mozambique, Zambia o Malawi, donde pasé parte de mi infancia, podrías decirle, en el idioma Chinyanja: «Ndimakukonda». En otros idiomas denominados Bantú del sur de África podrías decirle: «Ndinokuda», «Ndiyakuthanda» o, a un zulú: «Ngiyakuthanda». Esta familia Bantú de idiomas es bastante distinta de la familia Románica, y ambas son distintas de la familia Germánica, que

incluye el holandés, el alemán y los idiomas escandinavos. Fíjate que utilizamos la palabra «familia» para los idiomas, lo mismo hacemos para las especies (la familia gato, la familia perro) y además, por supuesto, para nuestra propia familia (la familia Pérez, la familia García o la familia Dawkins).



No es difícil adivinar cómo familias de idiomas relacionados se separan a lo largo de los siglos. Escucha el modo en que os habláis tú y tus amigos, y compáralo con la forma en la que lo hacen vuestros abuelos. Su forma de hablar es solo ligeramente diferente y los entendéis con facilidad, pero solo hay dos generaciones de

diferencia. Ahora imagina que no hablas con tus abuelos, sino con tus antepasados de hace 25 generaciones. Si eres español, eso te llevaría al siglo XIV, la época del Arcipreste de Hita, que escribió poemas como este.



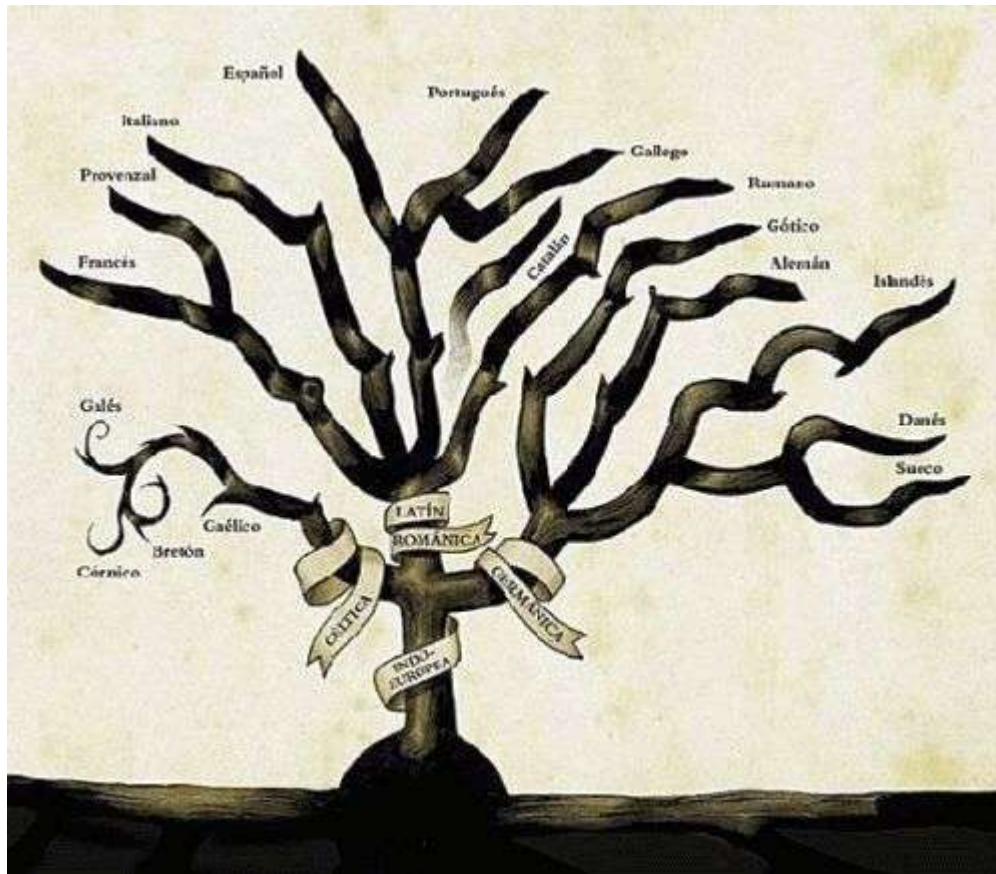
Bueno, se trata de castellano reconocible, ¿no? Pero apuesto a que te costaría aún más si lo escucharas de su propia voz. Y si fuera algo más distinto, probablemente lo considerarías un idioma diferente, tan diferente como el español del italiano.

Por tanto, los idiomas de cualquier parte del mundo cambian de siglo en siglo. Podríamos decir que «se desvían» hacia algo diferente.

Ahora añade el hecho de que la gente que habla el mismo idioma en distintos lugares no suele tener la oportunidad de escuchar a otros (o al menos no lo hacían antes de que se inventaran los teléfonos y los aparatos de radio); y el hecho de que los idiomas se desvían en distintas direcciones en cada lugar. Esto se aplica tanto al modo de hablar como a las propias palabras: piensa en lo distintos que suenan el español de México, el de Argentina, el de Cuba o el de España. Y los españoles pueden distinguir con facilidad un acento de Madrid de uno de Sevilla o de Bilbao. A lo largo del tiempo, tanto las palabras como la forma en la que se hablan los idiomas se convierten características de una región; cuando dos formas de hablar un mismo idioma se han separado lo suficiente, podemos denominarlas «dialectos».

Pasados los siglos suficientes, distintos dialectos regionales pueden llegar a convertirse en algo tan diferente que la gente de una región ya no pueda entenderse con la de otra. Llegado este punto, los denominamos idiomas diferentes. Eso es lo que ocurrió cuando el alemán y el holandés se desviaron en distintas direcciones a partir de un idioma ancestral que ya no existe. Lo mismo ocurrió con el francés, el italiano, el español y el portugués, que se desviaron del latín en distintas partes de Europa.

Puedes dibujar un árbol genealógico de los idiomas con «primos» como el francés, el portugués y el italiano en «ramas» vecinas, y antepasados como el latín mucho más abajo en el árbol —igual que hizo Darwin con las especies—.



Al igual que los idiomas, las especies cambian a lo largo del tiempo y la distancia. Antes de analizar *por qué* ocurre, necesitamos ver *cómo* sucedió. En el caso de las especies, el equivalente de la palabra es el ADN —la información genética almacenada en cada ser vivo que determina cómo está hecho, tal como vimos en el Capítulo 2—. Cuando los individuos se reproducen sexualmente, mezclan sus ADNs. Y cuando miembros de una población local emigran a otra población local e introducen allí sus genes reproduciéndose con individuos de dicha población, se produce lo que denominamos «flujo genético».

El equivalente, por ejemplo, del italiano y el francés desviándose uno del otro sería el ADN de dos poblaciones distintas de una misma especie que se hace cada vez más diferente. Su ADN se hace cada vez menos capaz de mezclarse con el otro para crear bebés. Los caballos y los burros pueden cruzarse, pero el ADN del caballo se ha desviado tanto del ADN del burro que ya no logran entenderse entre ellos. Mejor dicho, aún pueden mezclarse lo suficientemente bien —los dos «dialectos de ADN» pueden entenderse entre sí— como para crear una criatura viva, una mula, pero no lo suficiente como para crear una que pueda también reproducirse: las mulas, ya lo vimos antes, son estériles.

Una diferencia importante entre las especies y los idiomas es que estos pueden «tomar prestadas» palabras de otros idiomas. Por ejemplo, el inglés, mucho después de convertirse en un idioma independiente de sus orígenes románico, germánico y céltico, tomó prestadas las palabras «shampoo», del hindi; «iceberg», del noruego; «bungalow», del bengalí y «anorak» del inuit. Por el contrario, las especies animales nunca (o prácticamente nunca) vuelven a intercambiar ADN una vez que se han desviado lo suficiente como para impedir la reproducción. Las bacterias son otra historia: ellas sí intercambian genes, pero no hay espacio suficiente en este libro para profundizar en ello. En el resto de este capítulo, suponed que estoy hablando de animales.



§. Islas y aislamiento: el poder de la separación

Por tanto, los ADN de las especies, igual que las palabras de los idiomas, se desvían cuando se separan. ¿Por qué ocurrirá esto? ¿Qué puede provocar esa separación? Una posibilidad obvia es el mar. Las poblaciones de islas distantes no se reproducen entre sí — normalmente—, de manera que sus dos tipos de genes tienen la oportunidad de desviarse uno del otro. Esto hace a las islas extremadamente importantes en el origen de nuevas especies. Pero podemos pensar en una isla como algo más que un pedazo de terreno rodeado por agua. Para una rana un oasis es una «isla» en la que puede vivir, rodeada por un desierto en el que no puede. Para un pez, un lago es una isla. Las islas son importantes tanto para las especies como para los idiomas, porque la población de una isla está apartada del contacto con otras poblaciones (lo que evita el

flujo genético en el caso de las especies y la deriva en los idiomas) y, por tanto, es libre para empezar a evolucionar en su propia dirección.

El siguiente asunto importante es que la población de una isla no necesariamente estará totalmente aislada para siempre: los genes pueden cruzar en ocasiones la barrera que la rodea, tanto si se trata de agua como si es tierra inhabitable.

El 4 octubre 1995, una balsa formada por troncos y árboles arrancados llegó flotando a una playa de la isla caribeña de Anguila. En la balsa había quince iguanas verdes, vivas después de lo que debió de ser un viaje desde otra isla, probablemente Guadalupe, a 160 millas de allí. Dos huracanes, llamados Luis y Marilyn, habían arrasado el Caribe durante el mes anterior, arrancando árboles y arrojándolos al mar. Parece ser que uno de esos huracanes debió de arrancar los árboles en los que estaban las iguanas (les encanta sentarse en los árboles, tal como pude comprobar en Panamá) y los llevó mar adentro. Cuando llegaron a Anguila, abandonaron su curioso medio de transporte en la playa y comenzaron una nueva vida, alimentándose, reproduciéndose y transmitiendo su ADN a su nuevo hogar.

Sabemos que esto ocurrió porque algunos pescadores de Anguila vieron llegar a las iguanas. Siglos antes, aunque nadie estuviera allí para atestiguarlo, debió de ocurrir algo similar para que las iguanas llegaran a la isla de Guadalupe. Y más o menos la misma historia ocurrió para que las iguanas llegaran a las islas Galápagos, que es

hacia donde nos dirigimos para el siguiente episodio de nuestra historia.



Las islas Galápagos son importantes históricamente porque es muy probable que inspiraran las primeras ideas de Charles Darwin sobre la evolución, cuando las visitó como miembro de la expedición del HMS *Beagle*, en 1835. Se trata de una serie de islas volcánicas en el Pacífico, cerca del ecuador, a unas 600 millas al oeste de Sudamérica. Se trata de islas jóvenes (de tan solo unos pocos millones de años) formadas por volcanes que emergieron del fondo del mar. Esto significa que todas las especies de animales y plantas de esas islas han llegado de algún otro sitio —presumiblemente, de tierra firme, en Sudamérica— y recientemente, por estándares evolutivos. Una vez allí, las especies pudieron hacer pequeños viajes

de una isla a otra, lo suficientemente a menudo como para alcanzar todas las islas (quizá una vez o dos cada siglo), pero lo suficiente como para que fueran capaces de evolucionar de forma separada — de «desviarse», tal como hemos dicho en este capítulo— durante los intervalos entre salto y salto. Nadie sabe cuándo llegaron las primeras iguanas a las Galápagos. Probablemente, lo hicieron desde tierra firme, igual que las que llegaron a Anguila en 1995. En la actualidad, la isla más cercana a tierra firme es San Cristóbal (Darwin la conoció con el nombre inglés de Chatham), pero hace millones de años también había otras islas que ahora descansan bajo el mar. Las iguanas podrían haber llegado primero a una de las islas ahora sumergidas y después cruzar a otras islas, incluyendo aquellas que aún están a flote.

Una vez allí, tuvieron la oportunidad de prosperar en un nuevo lugar, igual que las que llegaron a Anguila en 1995. Las primeras iguanas de Galápagos podrían haber evolucionado para hacerse distintas de sus primas de tierra firme, en parte por «desviación» (igual que los idiomas) y en parte porque la selección natural habría favorecido nuevas técnicas de supervivencia: una isla volcánica es un lugar muy distinto de la tierra firme de Sudamérica.

Las distancias entre las distintas islas son mucho menores que la distancia de cualquiera de ellas a tierra firme. Por tanto, el cruce accidental entre islas podría ser relativamente común: quizá una vez por siglo en lugar de una vez por milenio. Y las iguanas habrían empezado a aparecer en casi todas las islas. Ese salto entre islas sería lo suficientemente infrecuente como para permitir algunas

diferencias evolutivas en cada una de las distintas islas, entre «contaminaciones» de los genes por posteriores saltos de isla: lo suficientemente escasos como para permitirles evolucionar tanto como para que ya no pudieran procrear unas con las otras. El resultado es que ahora hay tres especies distintas de iguana terrestre en las Galápagos, que ya no son capaces de reproducirse con las demás. *Conolophus pallidus* se encuentra únicamente en la isla de Santa Fe. *Conolophus subcristatus* vive en varias islas, entre ellas Fernandina, Isabela y Santa Cruz (la población de cada isla posiblemente está en camino de convertirse en una especie diferente) *Conolophus marthae* está confinada en la parte norte de una cadena de cinco volcanes de la gran isla de Isabela.

Esto nos lleva a otro asunto interesante. ¿Recuerdas que dije que un lago o un oasis podría considerarse una isla, aunque no se trate de tierra firme rodeada por agua? Bien, lo mismo ocurre con cada uno de los cinco volcanes de Isabela. Cada volcán de la cadena está rodeado por una zona de rica vegetación (coloreada en verde en el dibujo) que es una especie de oasis separado del siguiente volcán por un desierto. La mayoría de las islas Galápagos tienen un único y gran volcán, pero Isabela tiene cinco. Si el nivel del mar aumenta (quizá por el calentamiento global) Isabela podría convertirse en cinco islas separadas por el mar. Mientras, podemos pensar en cada volcán como una especie de isla dentro de la misma isla. Así es como lo vería un animal como la iguana terrestre (o como la tortuga gigante), que necesita alimentarse de la vegetación que solo se encuentra en las laderas que rodean a los volcanes.

Cualquier tipo de aislamiento creado por una barrera geográfica que pueda atravesarse alguna vez pero no demasiado a menudo, producirá una ramificación evolutiva. (De hecho no tiene por qué ser una barrera geográfica. Existen otras posibilidades, sobre todo en insectos, pero para simplificar no entraremos en ellas). Y una vez que las poblaciones divididas se han desviado lo suficiente como para no poder reproducirse entre sí, la barrera geográfica ya no es necesaria. Las dos especies pueden seguir caminos evolutivos diferentes sin contaminar el ADN de la otra. Son este tipo de separaciones las responsables principales de todas las nuevas especies que han aparecido en el planeta: incluso, como veremos más tarde, la separación original de, por ejemplo, los antepasados de los caracoles y los de todos los vertebrados incluyéndonos a nosotros.



En algún momento en la historia de las iguanas de Galápagos se produjo una ramificación que dio lugar a especies muy peculiares. En una de las islas —no sabemos cuál— una población local de iguanas terrestres cambió completamente su forma de vida. En lugar de comer plantas de las laderas de los volcanes se fueron a la costa y empezaron a comer algas. La selección natural favoreció entonces a los individuos con habilidades para nadar, hasta el punto de que sus descendientes actuales bucean en busca de las algas. Se denominan iguanas marinas y, a diferencia de las terrestres, no se encuentran en ningún sitio más que en Galápagos. Disponen de numerosas características extrañas que las equipan para la vida en el mar y esto las hace realmente distintas de las iguanas terrestres de Galápagos y de cualquier otra parte del mundo. Con seguridad han evolucionado a partir de las iguanas terrestres, pero no son primas demasiado cercanas de las actuales iguanas de Galápagos, por lo que es posible que hayan evolucionado de un género anterior ahora extinto que colonizó las islas desde tierra firme, mucho antes de las actuales *Conolophus*. Existen distintas razas de iguanas marinas, pero no especies diferentes, en las distintas islas. Es probable que algún día estas razas se separen lo suficiente como para denominarlas especies diferentes dentro del género iguana marina.



Algo similar sucede con las tortugas gigantes, los lagartos de la lava, los extraños cormoranes que no vuelan, los sinsontes, los pinzones y muchos otros animales y plantas de Galápagos. Y algo similar ocurre por todo el mundo. Galápagos es tan solo un ejemplo particularmente claro. Las islas (incluyendo lagos, oasis y montañas) fabrican nuevas especies. Un río también puede hacerlo. Si a un animal le resulta difícil cruzar un río, los genes de las poblaciones de ambas orillas se desviarán por separado, igual que nuestro idioma puede desviarse para generar dos dialectos que más tarde acabarán siendo dos idiomas. Las cadenas montañosas puede jugar el mismo papel en la separación. Igual que las largas *distancias*. Los ratones de España pueden estar conectados por una

cadena reproductiva con los ratones de todo el continente asiático hasta China. Pero a un gen le llevaría tanto tiempo viajar de un ratón a otro una distancia tan larga que es igual que si estuvieran en dos islas separadas. Y la evolución de los ratones en España y en China podría desviarse en direcciones diferentes.

Las tres especies de iguanas terrestres de Galápagos han tenido solo unos cuantos miles de años para desviarse en su evolución. Después de muchos cientos de millones de años, los descendientes de una única especie ancestral pueden ser tan distintos como, por ejemplo, una cucaracha y un cocodrilo. De hecho, es absolutamente cierto que una vez existió un antepasado de la cucaracha (y de muchos otros animales como los caracoles y los cangrejos) que fue también el antepasado de los cocodrilos (por no mencionar al resto de los vertebrados). Pero tendrías que retroceder muchísimo, quizá más de mil millones de años, para encontrar un ancestro como ese. Eso es mucho tiempo para que nos preguntemos cuál fue la barrera original que los separó por primera vez. Sea quien fuera, tuvo que estar en el mar, porque en aquellos lejanos días no había animales terrestres. Quizá la especie de ese ancestro común solo pudiera vivir en barreras de coral, y dos poblaciones terminaron en dos corales separados por una franja de agua inhabitable.

Tal como vimos en el capítulo anterior, solo necesitas retroceder seis millones de años para encontrar el ancestro común más reciente de todos los humanos y los chimpancés. Eso es suficientemente reciente como para preguntarnos por una posible barrera geográfica que pudiera haber ocasionado la división original. Algunos sugieren

que fue el Gran Valle del Rift, en África, con humanos evolucionando en la parte este y chimpancés en la oeste. Más tarde, la línea ancestral de los chimpancés se dividió en chimpancés comunes y chimpancés pigmeos o bombos: también se ha dicho que la barrera en este caso fue el río Congo. Tal como vimos en el capítulo anterior, el ancestro compartido por todos los mamíferos supervivientes vivió hace unos 185 millones de años. Desde entonces, sus descendientes se han ido ramificando y ramificando y ramificando, dando lugar a los miles de especies de mamíferos que existen actualmente, entre ellos 231 especies de carnívoros (perros, gatos, osos, comadrejas, etc.), 2000 especies de roedores, 88 especies de ballenas y delfines, 196 especies de animales de pezuña (vacas, antílopes, cerdos, ciervos, ovejas, etc.), 16 especies de la familia caballo (caballos, cebras, tapires y rinocerontes), 87 conejos y liebres, 997 especies de murciélagos, 68 especies de canguros, 18 especies de simios (incluyendo a los humanos) y cientos y cientos de especies que se han ido extinguiendo con el tiempo (incluyendo algunos humanos extintos, conocidos únicamente a partir de los fósiles).

§, Movimientos, selección y supervivencia

Me gustaría rematar el capítulo contando de nuevo la historia con un lenguaje algo diferente. Ya he mencionado brevemente el *flujo genético*; los científicos también hablan de algo denominado *acervo genético* (en inglés, *gene pool*, algo así como piscina de genes) y ahora quiero hablar más sobre lo que significa. Es obvio que no

puede ser literalmente una piscina de genes. La palabra «piscina» sugiere un líquido en el que los genes podrían repartirse. Pero los genes tan solo se encuentran en las células de los seres vivos. ¿Qué sentido tiene entonces hablar de una «piscina» de genes?

En cada generación, la reproducción sexual se encarga de que los genes se mezclen. Tú naciste con los genes mezclados de tu padre y de tu madre, lo que significa los genes mezclados de tus cuatro abuelos. Eso mismo se aplica a cada individuo de una población en el largo, largo, largo período de tiempo de la evolución: miles de años, decenas de miles, cientos de miles de años. Durante ese tiempo, este proceso de mezcla sexual ha hecho que los genes dentro de una población estén tan mezclados, incluso revueltos, que tendría sentido hablar de una gran piscina de genes revueltos: la piscina de genes o, dicho formalmente, el «acervo genético».

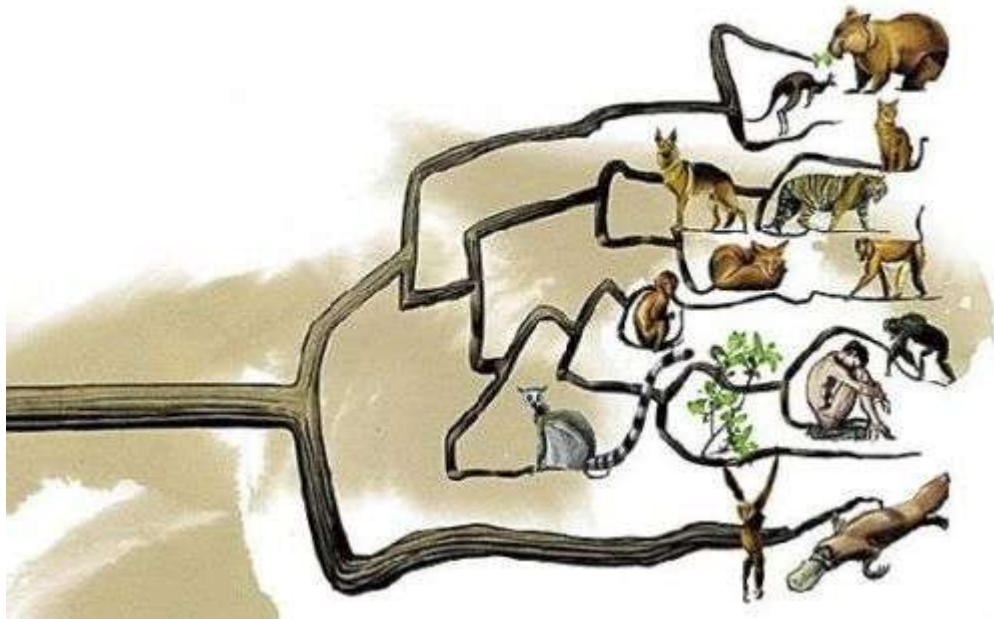


¿Recuerdas nuestra definición de especie como un grupo de animales o plantas que pueden reproducirse entre sí? Ahora entenderás la importancia de esta definición. Si dos animales son miembros de la misma especie en la misma población, eso significa que sus genes se están mezclando en la misma piscina de genes. Si dos animales son miembros de distintas especies no pueden ser miembros de la misma piscina de genes, porque su ADN no puede mezclarse por reproducción sexual, incluso aunque vivan en el mismo país y se crucen a menudo uno con otro. Si poblaciones de la misma especie están separadas geográficamente, sus piscinas de genes tienen la oportunidad de desviarse —tanto que si volvieran a encontrarse no podrían reproducirse—. Ahora que sus piscinas de genes han sobrepasado la distancia de reproducción, se han convertido en especies diferentes y pueden seguir evolucionando durante millones de años, hasta el punto de convertirse en algo tan diferente uno de otro como los humanos de las cucarachas.

Evolución significa cambio en la piscina de genes —en el acervo genético—. Cambio en un acervo genético significa que algunos genes se hacen más numerosos y otros menos. Genes que eran comunes acaban siendo raros, e incluso terminan desapareciendo. Genes que eran raros se convierten en comunes. Y el resultado es que la forma, o el tamaño, o el color o el comportamiento de miembros típicos de la especie varían: evolucionan debido a los cambios en los distintos genes del acervo genético. Eso es la evolución.

¿Por qué deberían los distintos genes cambiar a medida que avanzan las generaciones? Bueno, lo cierto es que resultaría sorprendente si no lo hicieran, dada la inmensa cantidad de tiempo transcurrido. Piensa en cómo cambian los idiomas a lo largo de los siglos. Palabras como «atraquina», «churriana» y «acertajo» prácticamente han desaparecido del español, mientras que otras que hace veinte años apenas existían, como «abrefácil» o «salvapantalla», son ahora de uso diario.

Hasta ahora en este capítulo no he necesitado profundizar más allá de la idea de que, en poblaciones separadas, distintos acervos genéticos pueden irse desviando, igual que los idiomas. Pero en realidad, en el caso de las especies, hay mucho más que simplemente desviación. Ese «mucho más» es la selección natural, el proceso sumamente importante que fue el gran descubrimiento de Charles Darwin. Incluso sin selección natural, cabría esperar que los acervos genéticos se desviarán y evolucionaran por separado. Pero habrían evolucionado de una forma aleatoria. La selección natural ayuda a que la evolución tome una dirección particular: en concreto, la dirección de la supervivencia. Los genes que sobreviven en un acervo genético son los genes que resultan buenos para la supervivencia. ¿Y qué hace a un gen ser bueno para la supervivencia? Ayuda a otros genes a construir cuerpos que son buenos para sobrevivir y reproducirse: cuerpos que sobreviven lo suficiente como para pasar esos genes que les han ayudado a sobrevivir.

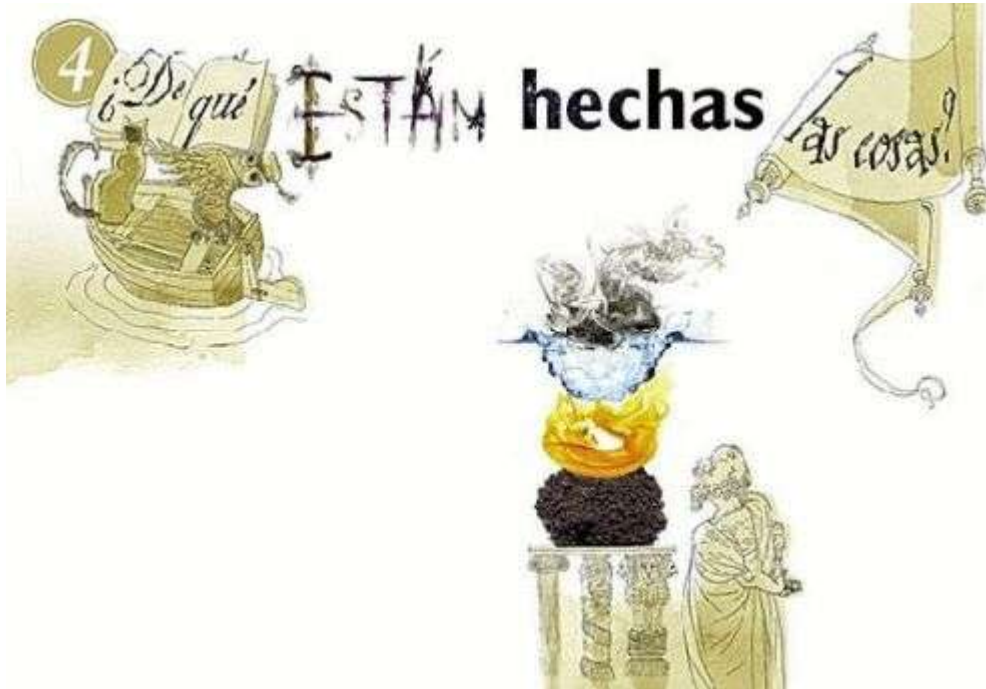


Cómo ocurre exactamente es algo que varía de una especie a otra. Hay genes que sobreviven en los cuerpos de pájaros o murciélagos ayudándoles a construir alas. Hay genes que sobreviven en los cuerpos de los topos ayudándoles a construir manos fuertes con forma de pala. Hay genes que sobreviven en los cuerpos de los leones ayudándoles a construir patas que corren más deprisa, y colmillos y garras más afilados. Hay genes que sobreviven en los cuerpos de los antílopes ayudándoles a construir patas que corren más deprisa, y oído y vista más agudos. Hay genes que sobreviven en los cuerpos de insectos hoja haciendo que sean indistinguibles de las hojas. Sean cuales sean los detalles diferentes, en todas las especies el nombre del juego es supervivencia de genes en un acervo genético. La próxima vez que veas un animal —cualquier animal— o una planta, obsérvalo y repítete a ti mismo: lo que estoy viendo es una máquina fabricada para transmitir los genes que la

construyeron. Estoy viendo una máquina de supervivencia para genes. La próxima vez que te mires en el espejo, simplemente piensa: tú también eres eso.

Capítulo 4

¿De qué están hechas las cosas?

**Contenido:**

- §. Cristales, un desfile de átomos
- §. Sólido, líquido, gas: cómo se mueven las moléculas
- §. Dentro del átomo
- §. Las cosas más pequeñas de todas
- §. El carbono: los andamios de la vida
- §. ¿Aquí no hay mitos?

En la época victoriana, uno de los libros favoritos de los niños británicos era *Book of Nonsense* (Libro de sinsentidos), de Edward Lear. Además de *The Owl and the Pussycat* (poemas sobre un búho y un gato que quizá conozcas porque aún son famosos), *The*

Jumblies (unos personajes coloridos y llenos de aventura) y *The Pobble Who Has No Toes* (el «Pobble» que perdió los dedos), me encantan las recetas que aparecen al final del libro. La de los Crumboblious (palabra inventada por el autor) comienza así:

Consigue algunas tiras de carne; córtalas en los pedazos más pequeños posibles; y procede después a cortarlos en pedacitos aún más pequeños; ocho o quizá nueve veces más.

¿Qué obtenemos si seguimos cortando algo en pedazos cada vez más pequeños?



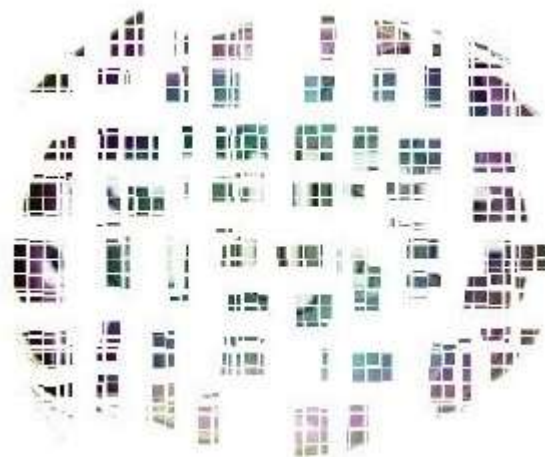
Supón que coges cualquier cosa y la cortas por la mitad, utilizando para ello la cuchilla de afeitar más fina y afilada que puedas encontrar.



Después cortas cada mitad por la mitad, y de nuevo por la mitad, y así una y otra vez.



¿Llegarán los trozos a ser tan pequeños que ya no puedan ser más pequeños? ¿Cómo de fino es el filo de una cuchilla de afeitar? ¿De qué tamaño es la punta de un alfiler?



¿Cuáles son las unidades más pequeñas en las que se puede dividir una cosa?

Las civilizaciones antiguas de Grecia, China e India creían haber llegado a la misma conclusión, que todo estaba hecho de cuatro «elementos»: aire, agua, fuego y tierra.

Pero un griego antiguo llamado Demócrito se acercó un poco más a la verdad. Demócrito pensó que si cortamos algo hasta el punto de conseguir trozos lo suficientemente pequeños, llegará un momento en que ya no se podrá cortar más. La palabra griega para «cortar» es *tomos*, y el prefijo «a» significa «no» o «no se puede». Por tanto, «atómico» significa algo tan pequeño que no se puede dividir en trozos más pequeños, y de ahí procede la palabra «átomo». Un átomo de oro es el trozo de oro más pequeño que puede existir. Incluso si pudiera cortarse en trozos más pequeños, dejaría de ser oro. Un átomo de hierro es el trozo de hierro más pequeño que puede existir. Y así con todo.

Ahora sabemos que existen unos 1000 tipos de átomos diferentes, de los que solo un 90 por ciento se encuentran en la naturaleza. El resto han sido creados en laboratorios científicos, pero solo en cantidades mínimas.



Las sustancias puras que están compuestas únicamente por un tipo de átomo se denominan elementos (la misma palabra que una vez se utilizó para la tierra, el agua, el aire y el fuego, pero con un significado muy diferente) Algunos ejemplos de elementos son el hidrógeno, el oxígeno, el hierro, el cloro, el cobre, el sodio, el oro, el mercurio y el nitrógeno. Algunos elementos, como el molibdeno, son muy escasos en la Tierra (quizá por eso nunca hayas oído hablar del molibdeno), pero muy abundantes en otras partes del universo (si te estás preguntando cómo lo sabemos, espera al Capítulo 8).

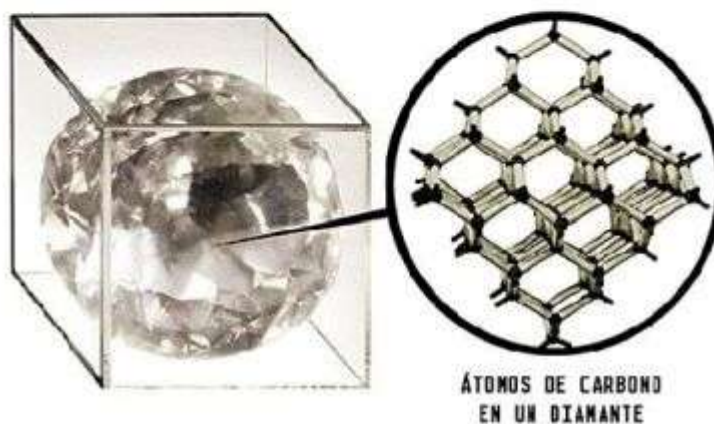
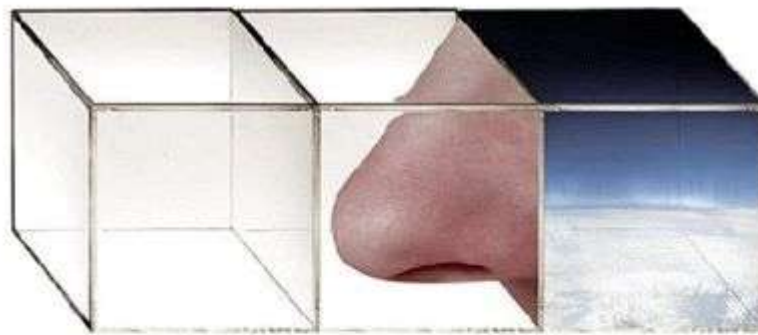
Metales como el hierro, el plomo, el cobre, el cinc, el estaño y el mercurio son elementos. También lo son algunos gases como el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y el neón. Pero la mayoría de las sustancias que nos rodean no son elementos, sino compuestos. Un compuesto es lo que obtenemos cuando dos o más átomos diferentes se unen de una forma concreta. Probablemente hayas oído hablar del agua como «H₂O». Se trata de una fórmula química, y significa que es un compuesto formado por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno. Los grupos de átomos se unen para formar un compuesto llamado *molécula*. Algunas moléculas son muy simples: una molécula de agua, por ejemplo, solo tiene esos tres átomos. Otras moléculas, sobre todo las que se encuentran en los cuerpos vivos, tienen



cientos de átomos, todos unidos en una estructura muy particular. De hecho, es esa forma de unirse entre ellos, además del tipo y el número de átomos, lo que hace que una molécula en particular sea un compuesto y no otro.

También puedes utilizar la palabra «molécula» para describir lo que se obtiene cuando se unen dos o más átomos del mismo tipo. Una molécula de oxígeno, ese gas que necesitamos para respirar, está compuesta por dos átomos de oxígeno unidos. A veces se unen tres átomos de oxígeno para dar lugar a un tipo de molécula diferente llamada ozono. Es el número de átomos en una molécula lo que marca realmente la diferencia, incluso si los átomos son iguales.

El ozono es dañino si se respira, pero nos beneficiamos de la capa que forma en la atmósfera superior de la Tierra, que nos protege de los rayos más dañinos del sol. Uno de los motivos por los que los australianos toman tantas precauciones cuando se exponen al sol es que existe un «agujero» en la parte más al sur de la capa de ozono.



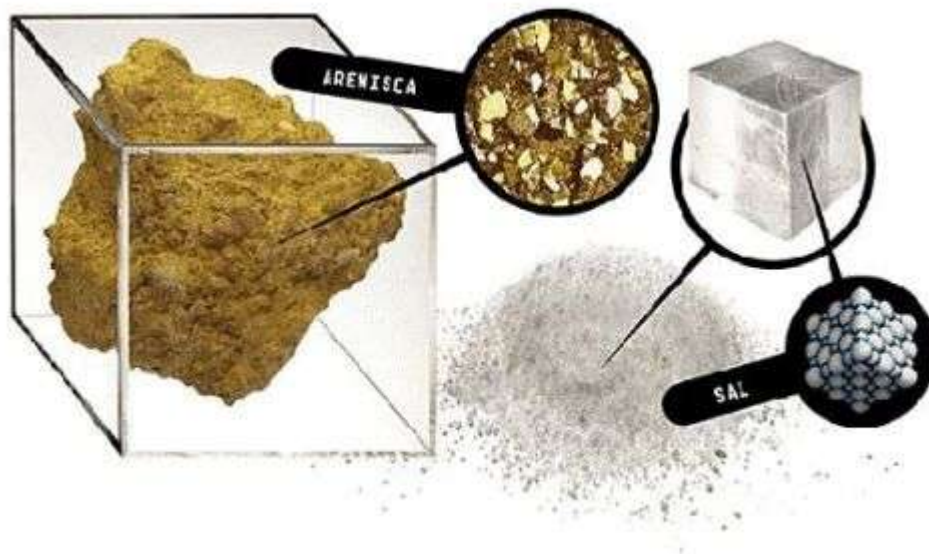
§. Cristales, un desfile de átomos

Un cristal de diamante es una molécula enorme sin tamaño fijo, formada por millones de átomos del elemento carbono pegados entre sí, todos alineados de una forma muy concreta. Están organizados de tal modo dentro del cristal que podrían parecer los soldados de un desfile, salvo que en este caso el desfile es en tres dimensiones, como un banco de peces. Pero el número de peces en el banco —el número de átomos de carbono en el cristal de diamante más pequeño— es gigantesco, más que todos los peces (y todas las personas) del mundo. Y «pegados» es un término erróneo para describirlos si con eso damos a entender que los átomos son

pedazos de carbono tan juntos que no hay espacio entre ellos. De hecho, tal como veremos, la mayoría de la materia sólida está formada por espacio vacío. ¡Eso hará falta explicarlo! Enseguida volvemos con ello.

Todos los cristales están contruidos con la misma forma a de «desfile de soldados», con átomos espaciados regularmente en un patrón fijo que es el que da a al cristal su forma. De hecho, eso es lo que significa cristal. Algunos «soldados» son capaces de desfilar de más de una forma, produciendo cristales muy diferentes. Los átomos de carbono, si desfilan de una forma, crean el legendario y duro cristal de diamante. Pero si adoptan una formación diferente construyen cristales de grafito, tan suave que se utiliza como lubricante.

Pensamos en los cristales como objetos maravillosos y transparentes, e incluso describimos otras cosas como el agua pura diciendo que es de una «claridad cristalina». Pero en realidad, la mayoría de la materia sólida está hecha de cristales, y la mayoría de la materia sólida no es transparente. Un trozo de hierro está hecho de multitud de pequeños cristales empaquetados, cada uno de ellos formado por millones de átomos de hierro, ordenados en formación, igual que los átomos de carbono en el cristal de diamante. El plomo, el aluminio, el oro, el cobre: todos están hechos de cristales de sus distintos tipos de átomos. También las rocas, como el granito o la arenisca, pero estas suelen ser mezclas de muchos tipos diferentes de pequeños cristales todos empaquetados juntos.



La arena también es cristalina. De hecho, muchos granos de arena son como pequeñas rocas erosionadas por el agua y el viento. Y el barro, aunque con el añadido de agua u otros líquidos. A menudo, los granos de arena se unen con granos de barro para formar nuevas rocas, denominadas «sedimentarias» porque están formadas por sedimentos endurecidos de arena y barro. (Un «sedimento» es la parte sólida que queda a en el fondo de un líquido, por ejemplo, en un río, un lago o el mar). La arena de las rocas areniscas está hecha principalmente de cuarzo y feldespato, dos cristales comunes en la corteza terrestre. La piedra caliza es diferente. Igual que la tiza es carbonato de calcio, y procede de los esqueletos de los corales y de las conchas, incluyendo las conchas de pequeñas criaturas de una única célula llamadas foraminíferos. Si ves una playa muy blanca, probablemente la arena será en su mayor parte calcio carbonatado del mismo tipo de concha.

Algunos cristales están hechos enteramente del mismo tipo de átomos «desfilando» —todos del mismo elemento—. El diamante, el oro, el cobre y el hierro son algunos ejemplos. Pero otros cristales están hechos de dos tipos distintos de átomos, también en formación de desfile y en un orden estricto: por ejemplo, alternándose. La sal (la sal común, la sal de mesa) no es un elemento, sino un compuesto de dos elementos, sodio y cloro. En un cristal de sal, los átomos de sodio y cloro desfilan juntos alternándose. De hecho, en este caso no se denominan átomos, sino «iones», pero no vamos a profundizar tanto. Cada ion de sodio tiene 6 iones de cloro alrededor, formando ángulos rectos: delante, detrás, a la izquierda, a la derecha, arriba y abajo. Y cada ion de cloro está rodeado por iones de sodio en formación idéntica a la anterior. Toda esta estructura está formada por cuadrados, y por eso si observas detenidamente un cristal de sal con una buena lupa, verás que es cúbico —la forma tridimensional de un cuadrado— o al menos tiene bordes cuadrados. Muchos otros cristales están hechos de más de un tipo de átomos «desfilando», y muchos de ellos se encuentran en las rocas, la arena y la tierra.

§. Sólido, líquido, gas: cómo se mueven las moléculas

Los cristales son sólidos, pero no todas las cosas son sólidas. También existen líquidos y gases. En un gas, las moléculas no están pegadas como en un cristal, sino que se mueven libremente dentro del espacio disponible, viajando en líneas rectas como bolas de billar (pero en tres dimensiones, no dos como en una mesa plana). Se

mueven hasta que chocan con algo, como otra molécula o las paredes de un contenedor, en cuyo caso rebotan igual que las bolas de billar. Los gases pueden comprimirse, lo que demuestra que existe mucho espacio entre átomos y moléculas. Cuando comprimes un gas, parece «elástico». Coloca el dedo en la válvula de una bomba de bicicleta y siente cómo «aprieta» cuando la activas. Si mantienes allí el dedo, cuando lo sueltes el émbolo saldrá disparado hacia atrás. Esa elasticidad que estás sintiendo se denomina «presión». La presión es el efecto de los millones de moléculas de aire (una mezcla de nitrógeno, oxígeno y algunos otros gases) que la bomba empuja a hacia el émbolo (y hacia todas partes, pero el émbolo es la única parte que puede moverse como respuesta a ese empujón). Si la presión es mayor, el empuje también lo es. Esto ocurrirá si el mismo número de moléculas de gas se encuentran en un volumen más pequeño (por ejemplo, cuando empujas el émbolo de la bomba). También ocurre si aumentamos la temperatura, lo que hace que las moléculas de gas se muevan más deprisa.

Un líquido es similar a un gas porque las moléculas se mueven libres o «flotan» (por eso los llamamos «fluidos», mientras que los sólidos no lo son). Pero las moléculas de un líquido están mucho más juntas unas de otras que las moléculas de un gas. Si introduces un gas en un tanque sellado, ocupará hasta el último milímetro cúbico de tanque. El



volumen del gas se expande rápidamente para rellenar el tanque completo. El líquido también rellena todos los huecos, pero solo hasta cierto nivel. Una cantidad fija de líquido, a diferencia de la misma cantidad de gas, mantiene un volumen fijo, y la gravedad lo empuja hacia abajo, de forma que solo rellena la parte que necesita del tanque desde abajo hacia arriba. Eso se debe a que las moléculas del líquido se mantienen cerca unas de otras. Pero a diferencia de un sólido, se deslizan por encima de las demás, por eso los líquidos se comportan como fluidos.

Un sólido no intenta rellenar el tanque; solo mantiene su forma. Eso se debe a que las moléculas de un sólido no se deslizan unas por encima de otras como las de un líquido, sino que permanecen (aproximadamente) en la misma posición con relación a sus vecinas. He dicho «aproximadamente» porque incluso en un sólido las moléculas realizan una especie de «sacudida» (más rápida cuanto mayor es la temperatura): solo que no se mueven lo suficientemente lejos de su posición en el «desfile» del cristal como para afectar a la forma del mismo.

A veces, un líquido es «viscoso», como la miel. Fluye, pero tan despacio que tarda mucho en rellenar el tanque. Algunos líquidos son tan viscosos —fluyen tan despacio— que podrían considerarse también sólidos. Las sustancias de este tipo se comportan como sólidos, aunque no estén hechas de cristales. El vidrio es un ejemplo. El vidrio debería «fluir», pero lo hace de forma tan lenta que tarda siglos en que lo notemos. Por tanto, a efectos prácticos, podemos considerar el vidrio como un sólido.

Sólido, líquido y gas son los nombres que damos a las tres fases comunes de la materia. Y muchas sustancias son capaces de pertenecer a los tres, dependiendo de la temperatura. En la Tierra, el metano es un gas (llamado a menudo «gas pantanoso», porque emana de los pantanos y a veces arde y se ilumina con una luz fantasmagórica). Pero en una luna muy lejana y muy fría del planeta Saturno, llamada Titán, existen lagos de metano líquido. Si un planeta estuviera suficientemente frío, podría tener «rocas» de metano helado. Solemos pensar en el mercurio como un líquido, pero eso solo significa que es líquido a temperaturas normales en la



Tierra. El mercurio es un metal sólido si lo dejamos a la intemperie en el invierno ártico. El hierro es líquido si lo calentamos a la temperatura suficiente. De hecho, alrededor del núcleo de la Tierra hay un mar de hierro líquido mezclado con níquel líquido. Por lo que yo sé, podría haber planetas muy calientes con océanos de hierro líquido en su superficie, y quizá extrañas criaturas bañándose en ellos, aunque lo dudo. Según nuestros estándares, el punto de congelación del hierro es caliente, por eso en la superficie de la Tierra normalmente lo encontramos como «hierro frío»¹, y el punto

¹ Búscalo en Google: Es del poeta Rudyard Kipling, que me encantaba, aunque ya no está de moda.

de congelación del mercurio es frío, de manera que solemos encontrarlo como líquido. En el otro extremo de la escala de temperaturas, tanto el mercurio como el hierro se convierten en gases si los calentamos lo suficiente.

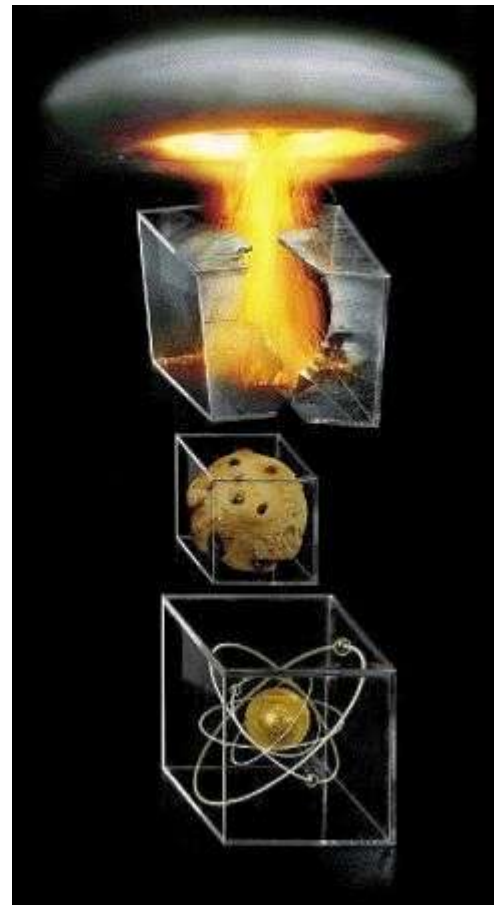
§, Dentro del átomo

Cuando al principio del capítulo imaginábamos cómo cortar la materia en los trozos más pequeños posibles, nos detuvimos al llegar al átomo. Un átomo de plomo es el objeto más pequeño al que aún podemos llamar plomo. Pero ¿realmente no se puede cortar un trozo de plomo? ¿Y un átomo de plomo no tendría el aspecto de un pequeño trozo de plomo? No, no tendría aspecto de un pequeño trozo de plomo. No tendría aspecto de nada. Eso se debe a que un átomo es demasiado pequeño para ser visto, incluso con un potente microscopio. Y sí, podemos cortar un átomo en trozos aún más pequeños; pero lo que obtendríamos ya no sería el mismo elemento, por motivos que veremos enseguida. Y aún más, resultaría muy difícil de hacer y requeriría una alarmante cantidad de energía. Este es el motivo por el que, a algunas personas, la frase «partir el átomo» les suena tan agorera. El primero en hacerlo fue el gran científico neozelandés Ernest Rutherford, en 1919.

Que no podamos ver un átomo y no podamos dividirlo sin convertirlo en algo diferente no significa que no podamos descubrir qué aspecto interior tiene. Tal como expliqué en el Capítulo 1, cuando los científicos no pueden ver algo directamente, proponen un «modelo» de lo que debería ser, y después prueban dicho modelo.

Un modelo científico es un modo de imaginar cómo pueden ser las cosas. Por tanto un modelo del átomo es una especie de imagen mental del aspecto que debe de tener el interior de un átomo. Un modelo científico puede parecer un juego de la imaginación, pero no lo es. Los científicos no solo proponen un modelo: después lo prueban. Lo que dicen es: «Si este modelo que estoy imaginando fuera cierto, cabría esperar verlo igual en el mundo real». Predicen lo que encontraremos si hacemos un experimento concreto y tomamos medidas. Un modelo exitoso es aquel cuyas predicciones resultan ser ciertas, especialmente si sobreviven a la prueba del experimento. Y si las previsiones resultan ser ciertas, esperamos que eso signifique que el modelo probablemente representa la verdad, o al menos parte de la verdad.

A veces las previsiones no salen bien, y entonces los científicos reajustan el modelo o crean uno nuevo, y después lo prueban. En cualquier caso, este proceso de proposición y prueba de un modelo —lo que denominamos el «método científico»— tiene muchas más posibilidades de determinar cómo son realmente las cosas que los mitos más maravillosos e imaginativos inventados para explicar lo que la gente no sabía — y a menudo, tampoco podía entender—.



Un modelo anterior del átomo fue el denominado «currant bun» (panecillo de pasas), propuesto por el gran físico inglés J. J. Thompson, a finales del siglo XIX. No voy a describirlo porque fue reemplazado por el modelo más exitoso de Rutherford, propuesto por el mismo Ernest Rutherford que dividió el átomo, que vino desde Nueva Zelanda hasta Inglaterra para trabajar como alumno de Thompson, al que sucedió como catedrático de física en la Universidad de Cambridge. El modelo Rutherford, reajustado más tarde por un alumno de Rutherford, el famoso físico danés Niels Bohr, trata el átomo como un sistema solar en miniatura. Hay un núcleo en mitad del átomo que contiene la masa de su material. Y hay pequeñas partículas llamadas electrones que zumban alrededor del núcleo en «órbita» (aunque «órbita» puede no ser una palabra correcta si la comparas con un planeta que orbita alrededor del sol, porque un electrón no es algo pequeño y redondo en un lugar concreto).

Algo sorprendente del modelo Rutherford/Bohr, que probablemente refleja una verdad real, es que la distancia entre cada núcleo y el siguiente es muy grande en comparación con el tamaño de los núcleos, incluso en un trozo duro de materia sólida como un diamante. Los núcleos están muy distanciados. Este es el punto al que te prometí antes que regresaríamos.

¿Recuerdas que dije que un cristal de diamante es una molécula gigante compuesta por átomos de carbono, como soldados en un desfile tridimensional? Bueno, ahora podemos mejorar nuestro «modelo» del cristal de diamante aplicándole una escala —es decir,

una idea de la proporcionalidad que mantienen en él las distancias y los tamaños—. Supón que representamos los núcleos de cada átomo de carbono del cristal no con un soldado, sino con un balón de fútbol, con electrones orbitando a su alrededor. En dicha escala, los balones más cercanos dentro del diamante estarían a más de 15 kilómetros de distancia.

Los 15 kilómetros entre los balones podrían contener a los electrones en órbita alrededor de los núcleos. Pero cada electrón, en nuestra escala «fútbolística», es mucho más pequeño que un mosquito, y esos mosquitos en miniatura están a varios kilómetros de distancia del balón alrededor del que vuelan. Resulta increíble que incluso el legendariamente duro diamante esté prácticamente compuesto por

¡ESPACIO VACÍO!

Lo mismo ocurre con todas las rocas, sin importar su dureza o solidez. También con el hierro y el plomo. Incluso con la madera más dura. Y es cierto en ti y en mí. Ya he dicho que la materia sólida está hecha de átomos pegados, pero en este caso «pegados» significa algo distinto, porque los propios átomos son, básicamente, espacio vacío. Los núcleos de los átomos están tan alejados que si los pusiéramos en la escala fútbolística, cualquier par de ellos estaría a 15 kilómetros de distancia, con algunos mosquitos por medio.

¿Cómo es posible? Si una roca está prácticamente compuesta por espacio vacío, con la materia distanciada como balones separados por kilómetros de su balón más cercano, ¿cómo puede ser tan dura y sólida? ¿Por qué no se derrumba como un castillo de naipes cuando nos sentamos encima? ¿Por qué no podemos ver a través de ella? Si tanto una pared como yo mismo estamos hechos principalmente de espacio vacío, ¿por qué no puedo atravesarla?

De primeras suena factible. Sé que tanto la pared como mi cuerpo están hechos de átomos tan espaciados entre sí que son como balones separados por 15 km. Seguramente, si tanto la pared como mi propio cuerpo son casi espacio vacío, debería ser capaz de atravesarla, colando mis átomos entre los de la pared. ¿Por qué no puedo?

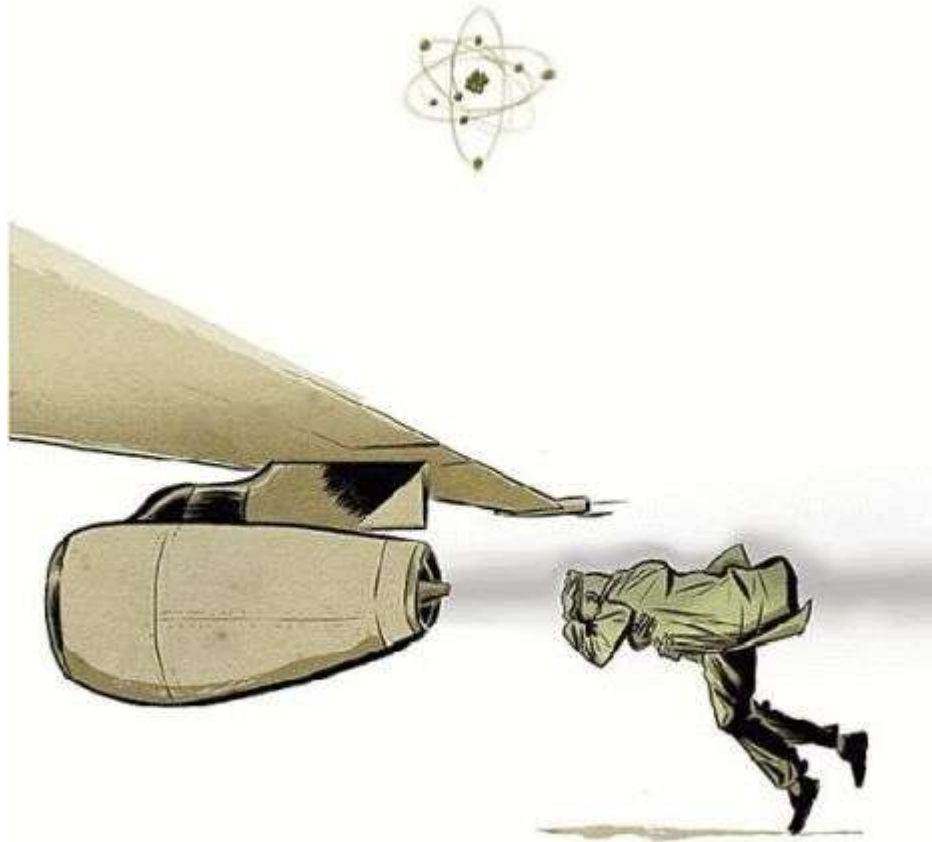
¿Por qué las piedras y las paredes son duras, y por qué no podemos mezclar nuestros espacios con los suyos? Debemos asumir (como cualquiera que intente atravesar una pared aprenderá del modo más duro) que lo que sentimos y vemos como materia sólida es más que simplemente núcleos y electrones —«balones» y «mosquitos»—. Los científicos hablan de «fuerzas», «uniones» y «campos» que actúan de formas diferentes, tanto para mantener separados los balones como para mantener unidos los componentes de cada balón. Y son esas fuerzas y esos campos los que hacen que las cosas resulten sólidas.

Cuando hablamos de cosas realmente pequeñas como átomos y núcleos, la distinción entre materia y espacio vacío comienza a perder su significado. No es del todo correcto decir que el núcleo es

«materia», como un balón, y que hay «espacio vacío» hasta el siguiente núcleo.

¿Por qué las piedras y las paredes son duras, y por qué no podemos mezclar nuestros espacios con los suyos? Debemos asumir (como cualquiera que intente atravesar una pared aprenderá del modo más duro) que lo que sentimos y vemos como materia sólida es más que simplemente núcleos y electrones —«balones» y «mosquitos»—. Los científicos hablan de «fuerzas», «uniones» y «campos» que actúan de formas diferentes, tanto para mantener separados los balones como para mantener unidos los componentes de cada balón. Y son esas fuerzas y esos campos los que hacen que las cosas resulten sólidas.

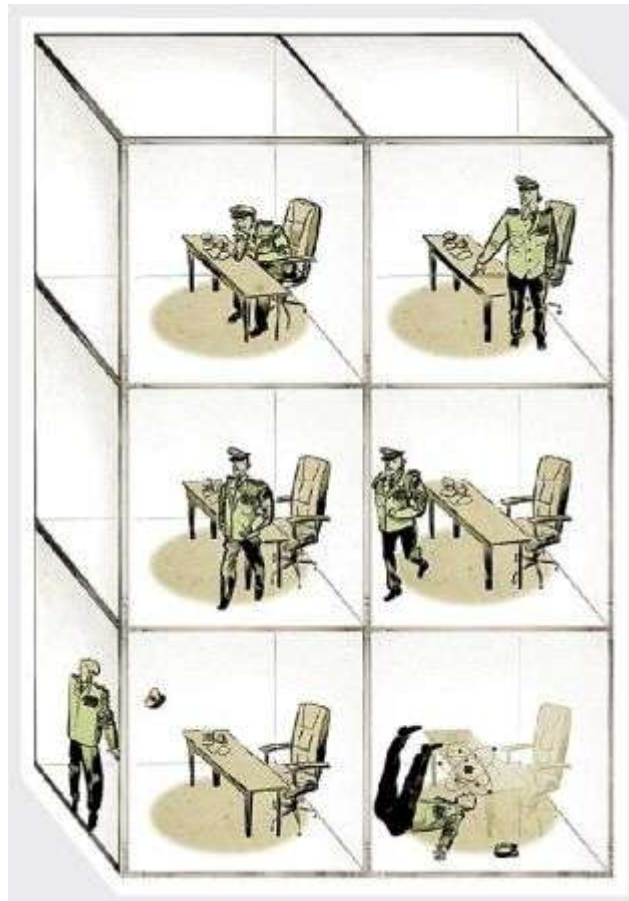
Cuando hablamos de cosas realmente pequeñas como átomos y núcleos, la distinción entre materia y espacio vacío comienza a perder su significado. No es del todo correcto decir que el núcleo es «materia», como un balón, y que hay «espacio vacío» hasta el siguiente núcleo.



Definimos la materia sólida como «aquello que no podemos atravesar». No podemos atravesar una pared por esas fuerzas misteriosas que unen los núcleos con sus vecinos en una posición fija. Eso es lo que significa sólido.

Líquido significa algo similar, salvo que los misteriosos campos y fuerzas mantienen algo menos unidos los átomos, de forma que se desplazan unos sobre otros, lo que significa a su vez que sí podemos atravesar el agua, aunque no tan deprisa como podemos hacerlo con el aire. El aire, al ser un gas (una mezcla de gases, en realidad) es fácil de atravesar porque los átomos de un gas se mueven con total libertad, en vez de estar ligados unos a otros. Solo es difícil

atravesar un gas si la mayoría de los átomos se mueven en la misma dirección y es la dirección opuesta la que queremos llevar nosotros. Esto es lo que ocurre cuando queremos andar en contra del viento (eso es lo que significa «viento»). Puede resultar difícil andar en dirección contraria a un vendaval, y es imposible hacerlo contra un huracán o contra el flujo artificial producido por un motor a reacción.

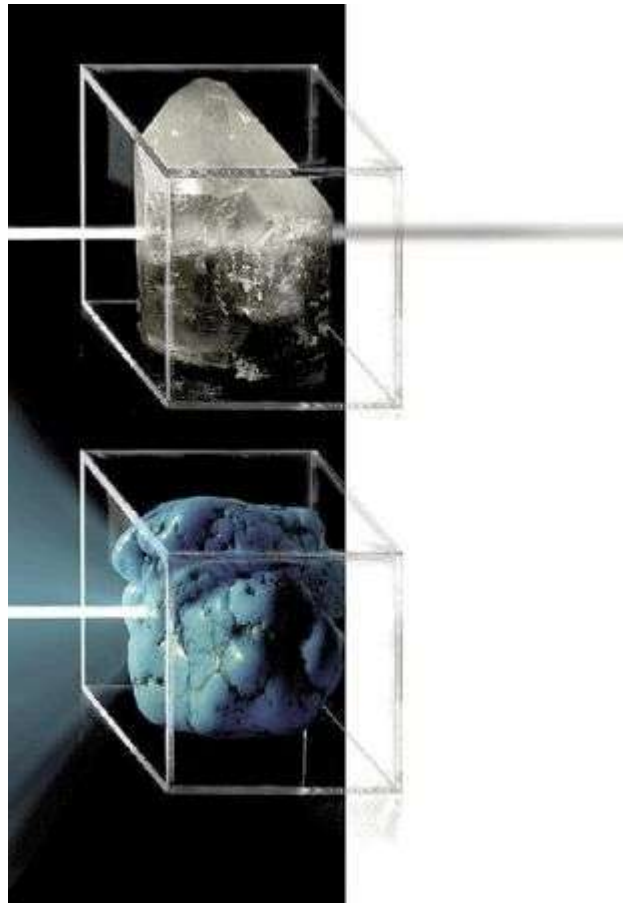


Imagina que estás sentado en una habitación corriente de un edificio corriente contemplando la pared. Y te da por pensar: esa pared es de hormigón y el hormigón está compuesto por átomos y

los átomos son principalmente espacio vacío. Igual que tú, principalmente espacio vacío.

Seguramente podrías atravesar la pared. ¿Por qué no intentarlo? Y lo intentas.

Y entonces te estrellas contra el muro. ¿Por qué?



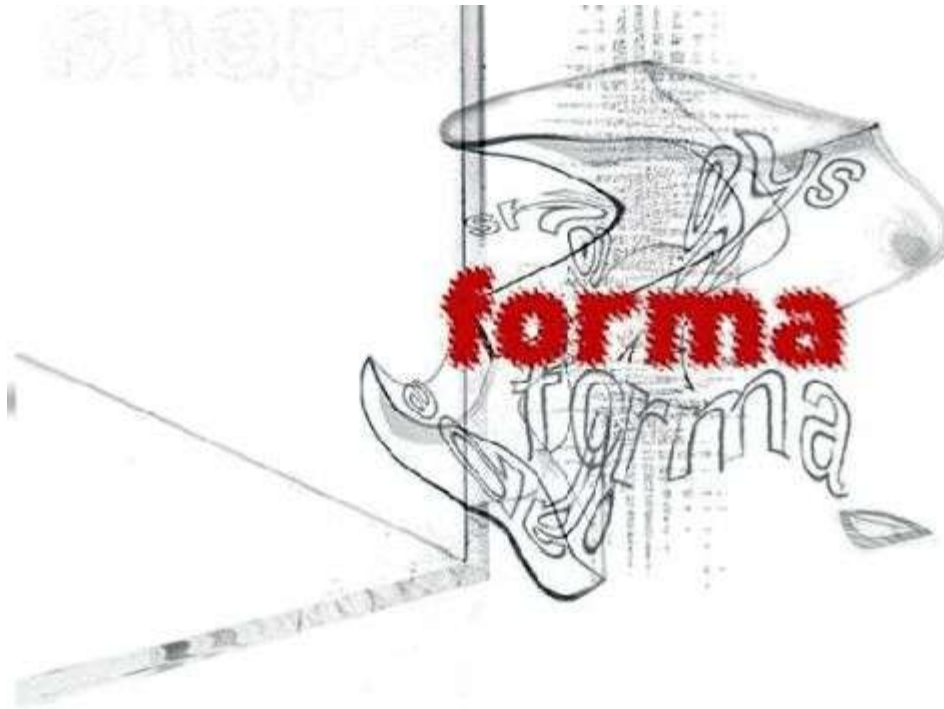
Es imposible atravesar la materia sólida, pero algunas partículas muy pequeñas como las que llamamos fotones sí pueden. Los rayos de luz son flujos de fotones, y pueden atravesar algunos tipos de materia sólida, los tipos que denominamos «transparentes». El modo en el que se alinean los balones en un cristal, o en el agua, o en

ciertas gemas, hace que los fotones pueden atravesarlos, aunque se ralentizan un poco al hacerlo, igual que nos ocurre a nosotros cuando nos zambullimos en el agua.

Salvo algunas pocas excepciones como los cristales de cuarzo, las rocas no son transparentes, y los fotones no pueden atravesarlas. En lugar de eso, dependiendo del color de la roca, son absorbidos por esta o reflejados por su superficie, igual que ocurre con la mayor parte del resto de cosas sólidas. Algunas cosas sólidas reflejan los fotones en línea recta, y solemos denominarlas espejos. Pero la mayoría de las cosas sólidas absorben gran parte de los fotones (no son transparentes), y dispersan aquellos que reflejan (no se comportan como espejos) Nosotros las vemos simplemente como «opacas», y también percibimos en ellas un color que depende de qué tipo de fotones absorben y cuáles reflejan. En el Capítulo 7, «¿Qué es un arco iris?», retomaremos el importante asunto del color. Mientras tanto debemos ajustar nuestra visión a lo muy pequeño, y mirar dentro del propio núcleo —el balón de fútbol—.

§. Las cosas más pequeñas de todas

El núcleo, en realidad, no tiene forma de balón. Solo era una manera de verlo. No es redondo como un balón. Ni siquiera está claro si deberíamos hablar de que tiene algún tipo de «forma».

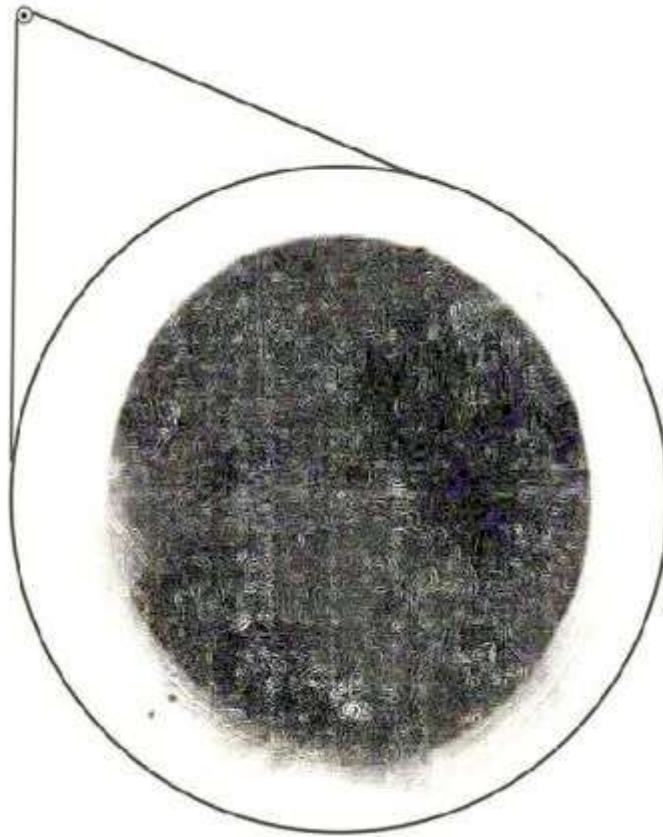


Quizá la propia palabra, igual que «sólido», pierden todo su significado en cosas tan pequeñas. Y ahora estamos hablando de cosas muy muy pequeñas.

El punto final que cierra esta frase contiene cerca de un millón de millones de átomos de tinta impresa.

Cada núcleo contiene partículas más pequeñas denominadas protones y neutrones. También puedes imaginarlas como balones, si quieres, pero al igual que el núcleo, en realidad no lo son. Los protones y los neutrones tienen aproximadamente el mismo tamaño.

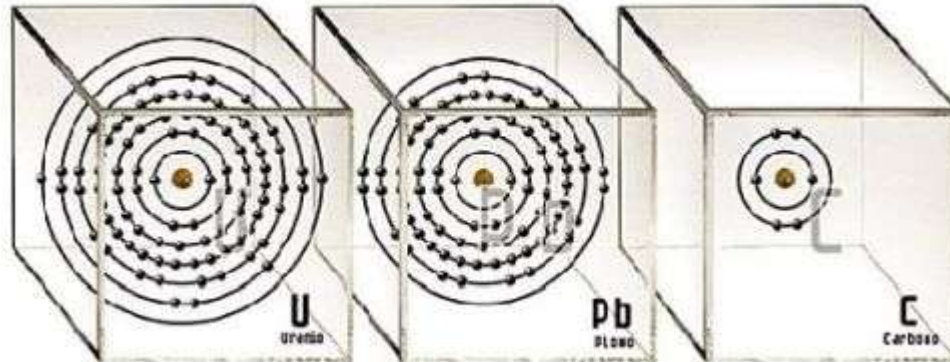
De hecho, son muy, muy pequeños, pero aun así son 1000 veces mayores que los electrones (los «mosquitos») que orbitan alrededor del núcleo.



La diferencia principal entre un protón y un neutrón es que el protón tiene carga eléctrica. Los electrones también tienen carga eléctrica, contraria a la de los protones. Aquí no vamos a entrar en lo que significa exactamente «carga eléctrica». Los neutrones no tienen carga.

Como los electrones son muy muy muy pequeños (a diferencia de los protones y los neutrones, que solo son muy muy pequeños), la masa de un átomo es, a todos los efectos, la de sus protones y neutrones. ¿Qué significa «masa»? Bueno, puedes pensar en la masa como algo similar al peso, y puedes medirla utilizando las mismas

unidades de medida que para el peso (gramos o libras). No obstante, el peso no es lo mismo que la masa, y tendré que explicarte la diferencia, pero lo dejaré para el próximo capítulo. De momento piensa simplemente que la «masa» es algo parecido al «peso».



La masa de un objeto depende casi por completo de cuántos protones y neutrones tengan la suma de todos sus átomos. El número de protones del núcleo de cualquier átomo de un elemento en concreto siempre es el mismo, y es igual al número de electrones que orbitan alrededor del núcleo, aunque los electrones apenas contribuyen a la masa porque son demasiado pequeños. Un átomo de hidrógeno solo tiene un protón (y un electrón). Un átomo de uranio tiene 92 protones. El de plomo, 82. El de carbono, 6. Para cualquier número posible, desde 1 hasta 100 (e incluso alguno más) existe un único elemento que tiene ese número de protones (y el mismo número de electrones). No vamos a ponerlos todos aquí, pero sería fácil hacerlo (Lalla, mi mujer, es capaz de recitarlos todos de

memoria, a gran velocidad, un truco que aprendió como ejercicio de entrenamiento de la memoria y como ayuda para dormir).

El número de protones (o electrones) que posee un elemento se denomina «número atómico» de dicho elemento. De esta forma podemos identificar a un elemento no solo por su nombre, sino también por su número atómico único. Por ejemplo, el elemento número 6 es el carbono; el elemento número 82 es el plomo. Los elementos están ordenados en una tabla denominada «tabla periódica» —no voy a entrar en por qué se denomina así, aunque es interesante—. Pero ahora es momento de volver, tal como te prometí, a la pregunta de por qué cuando cortamos un trozo de plomo en trozos más y más pequeños, llega un momento en el que si volvemos a dividirlo, deja de ser plomo. Un átomo de plomo tiene 82 protones. Si lográramos dividir el átomo de forma que ya no tuviera 82 protones dejaría de ser plomo.

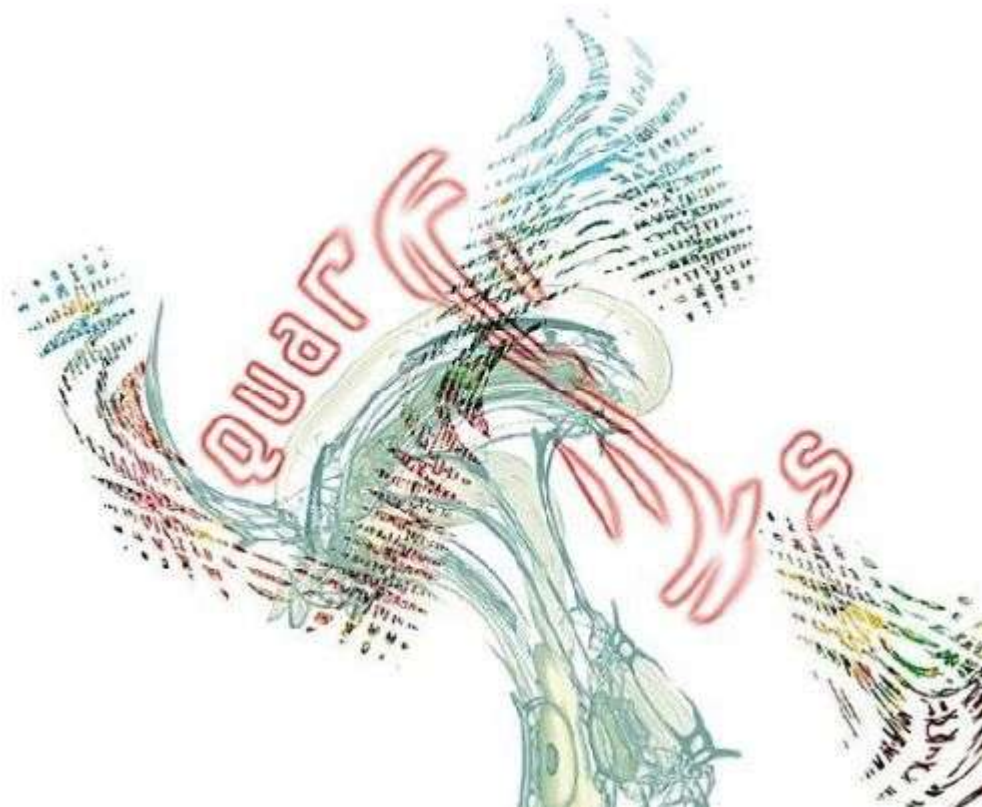
TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

1	2											18	19	20											36	37	38									
H	He											Ar	Kr	Xe											Rn											
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Pb	Bi	Po	At	Rn														
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Hf	Ta	Pb	Bi	Po	At	Rn														

LANTANIDOS
ACTINIDOS

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

El número de neutrones en el núcleo de un átomo no es tan fijo como el número de protones: muchos elementos tienen distintas versiones, denominadas isótopos, con distintos números de neutrones. Por ejemplo, el carbono tiene tres isótopos, denominados carbono-12, carbono-13 y carbono-14. Los números hacen referencia a la masa del átomo, que es la suma de los protones y los neutrones.



Cada uno de los tres tiene seis protones. El carbono-12 tiene seis neutrones, el carbono-13 tiene siete neutrones y el carbono-14 tiene ocho neutrones. Algunos isótopos, por ejemplo, el carbono-14, son radiactivos, lo que significa que se convierten en otros elementos

pasado un tiempo concreto, a una velocidad predecible. Los científicos pueden utilizar esta característica para calcular la edad de los fósiles. El carbono-14 se utiliza para datar cosas más jóvenes que la mayoría de los fósiles, por ejemplo, antiguos barcos de madera.

Entonces, nuestra pregunta sobre cortar las cosas cada vez más pequeñas, ¿termina con estas tres partículas: electrones, protones y neutrones? No, incluso los protones y los neutrones tienen un interior. Contienen cosas aún más pequeñas llamadas quarks. Pero eso es algo de lo que no vamos a hablar en este libro. No es porque piense que no lo entenderías. ¡Es porque sé que *yo mismo* no lo entiendo! Estamos entrando en un maravilloso mundo de misterio. Y es importante darse cuenta de cuándo alcanzamos los límites de lo que podemos entender. No es que nunca vayamos a entender este tipo de cosas. Probablemente lo haremos, y los científicos están trabajando en ello con esperanzas de éxito.



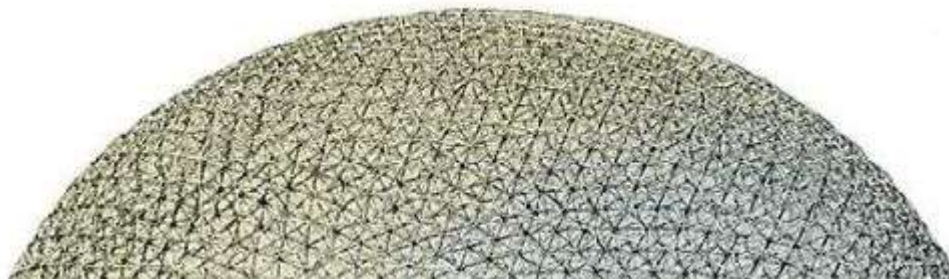
Pero debemos saber qué es lo que no entendemos y admitirlo, antes de que podamos empezar a trabajar en ello. Hay científicos que entienden al menos parte de este maravilloso mundo de lo muy pequeño, pero yo no soy uno de ellos. Yo conozco mis limitaciones.

§. El carbono: los andamios de la vida

Todos los elementos son especiales en distinta forma. Pero hay un elemento, el carbono, que es tan especial que quiero terminar el capítulo hablando brevemente sobre él. La química del carbono tiene incluso su propio nombre, que la separa del resto de la química: la química «orgánica». El resto de la química se denomina «inorgánica». ¿Qué tiene el carbono que lo hace tan especial?

La respuesta es que los átomos de carbono se unen entre sí formando cadenas. El compuesto químico octano (en el dibujo de la izquierda), que como sabrás es un ingrediente del petróleo y la gasolina, es una cadena corta de ocho átomos de carbono (las bolas negras del dibujo) con átomos de hidrógeno (las bolas grises) sobresaliendo en los laterales. Lo asombroso del carbono es que puede hacer cadenas de cualquier longitud, algunas literalmente de cientos de átomos de carbono de longitud. A veces las cadenas forman un bucle. Por ejemplo, en el dibujo de arriba vemos la naftalina (esa sustancia utilizada para proteger la ropa de las polillas), cuyas moléculas también están hechas de carbono con hidrógeno enganchado, esta vez en dos bucles. La química del carbono es algo así como ese juego de ensamblaje llamado Tinkertoy.

En el laboratorio, los químicos han logrado crear átomos de carbono que se unen entre sí, no solo en bucles simples, sino en increíbles moléculas de tipo Tinkertoy a las que han apodado Bucky-bolas y Bucky-tubos. «Bucky» era el apodo de Buckminster Fuller, el gran arquitecto americano que inventó la cúpula geodésica. Es fácil ver la conexión si te fijas en la imagen de debajo. Las Bucky-bolas y Bucky-tubos fabricados por los científicos son moléculas artificiales. Pero muestran las formas en las que pueden unirse entre sí los átomos de carbono para crear estructuras de tipo andamio que pueden ser infinitamente grandes. (Hace poco se ha publicado que se habían detectado Bucky-bolas en el espacio exterior, en el polvo suspendido cerca de una estrella lejana). La química del carbono ofrece un número prácticamente infinito de posibles moléculas, todas con formas diferentes, y miles de ellas se encuentran en los cuerpos vivos. En el dibujo de arriba a la derecha puedes ver una molécula enorme llamada mioglobina, que se encuentra por millones en todos nuestros músculos. La ilustración no muestra los átomos individuales, simplemente los tubos que los unen.



No todos los átomos de la mioglobina son átomos de carbono, pero son estos los que se unen en esas magníficas estructuras de andamiaje. Y eso es lo que realmente hace que la vida sea posible. Si piensas que la mioglobina es tan solo un ejemplo entre miles de moléculas igual de complicadas dentro de las células vivas, no te costará imaginar que, del mismo modo que puedes construir estructuras maravillosas con el Tinkertoy, la química del carbono proporciona un gigantesco rango de posibles formas necesarias para crear algo tan complicado como un organismo vivo.

§. ¿Aquí no hay mitos?

Este capítulo ha sido algo extraño porque no he comenzado con una lista de mitos. Esto es únicamente porque resulta difícilísimo encontrar mitos sobre este tema. A diferencia, por ejemplo, del sol, del arco iris o de los terremotos, el fascinante mundo de lo muy pequeño nunca llegó a ser noticia para los pueblos primitivos. Si te paras a pensarlo, resulta bastante natural. Ellos no tenían forma de saber que eso estaba ahí, y por supuesto no inventaron ningún mito para explicarlo. No fue hasta la llegada del microscopio, en el siglo XVI, cuando la gente descubrió que los estanques y los lagos, la arena y el polvo, incluso nuestros cuerpos, estaban repletos de criaturas diminutas, demasiado pequeñas para poder verlas, demasiado complicadas y, cada una con su forma particular, maravillosas, o tal vez aterradoras, dependiendo de cómo pienses en ellas.

Las criaturas del dibujo de esta página son ácaros del polvo — parientes lejanos de las arañas, pero demasiado pequeños para poder verlos—. Hay miles de ellos en cada hogar, arrastrándose por cada alfombra y cada cama, probablemente también en la tuya.

Si los pueblos primitivos hubieran sabido de ellos, ¡imagina los mitos y leyendas que podrían haber inventado para explicarlos! Pero antes de la invención del microscopio su existencia ni siquiera se soñaba; y por eso no hay mitos sobre ellos. Y puestos a hablar de lo pequeño, incluso un ácaro del polvo contiene más de cien billones de átomos.



Los ácaros del polvo son demasiado pequeños para que podamos verlos, pero las células de las que están hechos lo son aún más. Las numerosas bacterias que viven dentro de ellos —y dentro de nosotros— son aún menores.

Y los átomos son mucho más pequeños que las bacterias. El mundo entero está hecho de cosas increíblemente pequeñas, demasiado

pequeñas para verlas a simple vista; y ninguno de los mitos o de los denominados libros sagrados que alguna gente, incluso ahora, piensa que nos fueron entregados por los dioses, las mencionan en absoluto. De hecho, cuando estudiamos esos mitos e historias, es fácil ver que no contienen ninguno de los conocimientos que la ciencia ha descubierto a base de paciencia. No nos dicen lo grande o lo antiguo que es el universo; no nos dicen cómo curar el cáncer; no explican la gravedad ni el motor de combustión interna; no nos hablan de gérmenes, ni de fusión nuclear, ni de electricidad o anestésicos. De hecho, aunque no me sorprende, las historias de los libros sagrados no contienen más información sobre el mundo que la que conocían los pueblos primitivos que comenzaron a escribirlos. Si realmente esos «libros sagrados» hubieran sido escritos, dictados o inspirados algún dios omnisciente, ¿no te parece extraño que esos dioses no dijeran nada sobre ninguna de estas cosas tan útiles e importantes?

Capítulo 5

¿Por qué tenemos noche y día, invierno y verano?



Contenido:

- §. *Juguemos con el reloj y con el calendario*
- §. *En órbita*
- §. *Huevos, elipses y cómo escapar de la gravedad*
- §. *Un vistazo de refilón al verano*

Nuestras vidas están dominadas por dos grandes ritmos, uno mucho más lento que el otro. El más rápido es la alternancia diaria entre oscuridad y luz, que se repite cada 24 horas, y el más lento es la alternancia anual entre invierno y verano, cuyo ciclo dura algo más de 365 días. No sorprende, por tanto, que ambos ritmos hayan dado lugar a mitos. El ciclo día-noche es especialmente útil en los mitos por la forma asombrosa en la que el sol parece moverse desde el este hacia el oeste. Muchos pueblos vieron incluso al sol como un carro dorado, conducido por un dios por el cielo.

Las tribus aborígenes de Australia estuvieron aisladas en su continente-isla durante al menos 40 000 años, y poseen algunos de los mitos más antiguos del mundo. Casi todos se crearon en una época misteriosa llamada «Dreamtime» (tiempo de sueño), cuando el

mundo comenzó y se pobló de animales y de una raza de antepasados gigantes. Las distintas tribus aborígenes tienen mitos diferentes sobre el Dreamtime. Este primero procede de una tribu que vive en los Flinders Ranges, al sur de Australia.



Durante el tiempo de sueño había dos lagartos que eran amigos. Uno era un goanna (nombre australiano del varano, un gran lagarto monitor) y el otro era un geco o salamanquesa (un precioso lagarto pequeño con dedos prensiles que le permiten trepar por superficies verticales) Ambos amigos descubrieron que otros amigos comunes habían sido masacrados por la «mujer sol» y su jauría de perros dingo amarillos.

Furioso con la mujer sol, el varano le lanzó su bumerán y la expulsó del cielo. El sol desapareció por el horizonte occidental y el mundo quedó a oscuras. Los dos lagartos se asustaron y trataron

desesperadamente de llamar al sol para que volviera al cielo y restaurar a la luz. El varano lanzó otro bumerán hacia el oeste, hacia el lugar por el que había desaparecido el sol. Como ya sabrás, los bumeranes son curiosas armas que regresan a quien las lanza, de forma que los lagartos esperaban que el bumerán lograra enganchar al sol y volver a traerlo al cielo. Pero no fue así. Después probaron a lanzar bumeranes en todas direcciones, con la vana esperanza de recuperar al sol. Al final, al lagarto varano le quedaba un único bumerán, y en su desesperación lo lanzó hacia el este, la dirección opuesta por la que había desaparecido el sol. Esta vez, cuando regresó, traía consigo al sol. Desde entonces, el sol repite el mismo patrón de desaparecer por el oeste y reaparecer por el este. Muchos mitos y leyendas de todas partes del mundo juegan con la misma idea: un incidente que ocurrió una vez y que después, por motivos que nunca se explican, ha seguido ocurriendo para siempre.

Este es otro mito aborigen, esta vez del sudeste australiano. Alguien lanzó un huevo de emú (un tipo de avestruz australiana) al cielo. El sol salió del huevo y prendió una pila de astillas de madera que, por algún motivo, estaba allí. El dios del cielo se dio cuenta de que la luz resultaba útil para los hombres, y le dijo a sus sirvientes que desde entonces salieran cada noche y encendieran suficientes hogueras en el cielo para iluminar el día siguiente.

El ciclo más largo de las estaciones también es objeto de mitos en todo el mundo. Los mitos de los nativos norteamericanos, como muchos otros, a menudo tienen personajes que son animales. En este, de la tribu Tahltan del oeste de Canadá, el castor y el puercoespín discutían sobre cuánto debían durar las estaciones. El puercoespín quería que el invierno durara cinco meses, así que levantó sus cinco dedos. Pero el castor quería que el invierno durara más tiempo, tanto como el número de surcos de su cola. El puercoespín se enfadó e insistió en un invierno aún más corto. De pronto, se arrancó un dedo de un mordisco y levantó la mano con los cuatro dedos que le quedaban. Y desde entonces el invierno ha durado cuatro meses. Este mito me resulta algo decepcionante, porque asume que habrá un invierno y un verano, y solo explica cuántos meses durará cada uno. El mito griego de Perséfone es mejor en este sentido.

Perséfone era la hija del Dios de todos los dioses, Zeus. Su madre era Deméter, la diosa de la fertilidad de la Tierra y las cosechas. Deméter amaba a Perséfone, a la que ayudó a cuidar las cosechas. Pero Hades, el dios del inframundo, hogar de la muerte, también amaba a Perséfone. Un día, mientras jugaba en un campo de flores, se abrió una gran grieta y Hades apareció desde abajo en su



carruaje; tomó a Perséfone, la llevó con él a las profundidades y la convirtió en la reina de su oscuro mundo subterráneo. Deméter estaba tan enfadada por la pérdida de su amada hija que detuvo el crecimiento de las plantas y la gente comenzó a pasar hambre.



¿qué es **realmente** lo que convierte
el día en noche
y el invierno en verano?

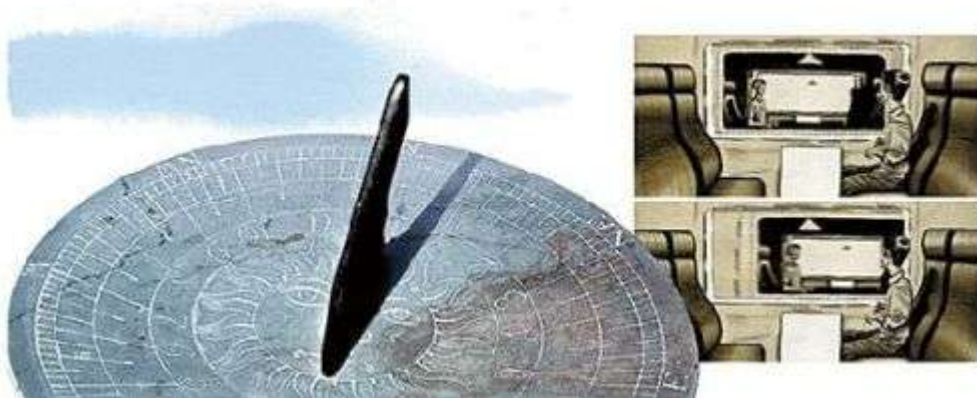
Zeus envió a Hermes —el mensajero de los dioses— al inframundo para traer de nuevo a Perséfone a la tierra de la vida y la luz. Por desgracia, Perséfone había comido seis semillas de granada cuando estuvo en el inframundo, y eso significaba (según el tipo de lógica a la que estamos acostumbrados en los mitos) que tenía que volver al inframundo durante seis meses al año, uno por cada semilla.

Y desde entonces Perséfone vive parte del año en la superficie, dando lugar a la primavera y continuando hasta el final del verano. Durante ese tiempo las plantas florecen y todo está hermoso. Pero durante el invierno, cuando se ve obligada a volver con Hades por haber comido esas semillas, la tierra se enfría y queda yerma, y nada puede crecer en ella.

Siempre que las cosas cambian siguiendo un ritmo preciso, los científicos sospechan que o bien hay algo balanceándose como un péndulo o bien algo rotando: dando vueltas y más vueltas. En el caso de nuestros ritmos diario y estacional, es lo segundo. El ritmo estacional se explica por la órbita anual de la Tierra alrededor del sol, a una distancia de unos 150 millones de kilómetros. Y el ritmo diario se explica por la rotación de la Tierra, que gira como una peonza.

La ilusión de que el sol se mueve por el cielo es simplemente eso: una ilusión. Es la ilusión del *movimiento relativo*. Probablemente sentirás muchas veces ese tipo de ilusión. Te encuentras en un tren, detenido en una estación junto a otro tren. De pronto sientes que empiezas a moverte. Pero después te das cuenta de que en realidad no te estás moviendo. Es el otro tren el que se mueve en

sentido contrario. Recuerdo que me intrigó esta ilusión la primera vez que viajé en tren. (Debía de ser bastante pequeño, porque también recuerdo otra cosa extraña en ese primer viaje. Mientras estábamos en el andén esperando, mis padres no dejaban de decir cosas como «nuestro tren llegará pronto» y «aquí viene nuestro tren» y después «este es nuestro tren» Estaba ilusionado por subir, porque era *nuestro* tren. Recorrí el pasillo de un extremo al otro maravillándome con todo, y muy orgulloso porque creía que era el *dueño* de todo aquello).



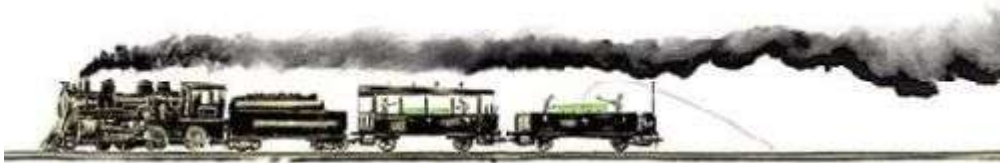
La ilusión del movimiento relativo también funciona en el sentido contrario. Crees que el otro tren se ha movido, pero descubres que es tu propio tren el que se está moviendo. Puede resultar difícil distinguir entre el movimiento aparente y el movimiento real. Es fácil si tu tren arranca de golpe, pero no si tu tren se mueve muy suavemente. Cuando tu tren adelanta a otro tren que va algo más lento, a veces puedes sentir que tu tren está parado y que es el otro el que se mueve lentamente hacia atrás.

Lo mismo ocurre con el sol y la Tierra. El sol no se mueve por el cielo de este a oeste. Lo que ocurre en realidad es que la Tierra, como prácticamente todo en el universo (incluyendo por cierto el propio sol, aunque podemos ignorarlo), gira alrededor de un eje. Técnicamente decimos que la Tierra rota sobre su «eje»: puedes imaginar el eje como una varilla que atraviesa el globo del polo norte al polo sur. El sol permanece prácticamente siempre a la misma distancia de la Tierra (no con relación a otras cosas en el universo, pero ahora solo vamos a detenernos en su relación con la Tierra) Giramos tan suavemente que no detectamos el movimiento, y el aire que respiramos también rota con nosotros. Si no lo hiciera, sentiríamos una especie de vendaval, porque estamos rotando a varios miles de kilómetros por hora. Al menos, esa es la velocidad de rotación en el ecuador; obviamente, rotamos más despacio a medida que nos acercamos a los polos norte o sur, porque el suelo sobre el que estamos tiene menos distancia para hacer una vuelta completa alrededor del eje. Pero como no podemos sentir la rotación del planeta y el aire rota junto a nosotros, nos ocurre lo mismo que en el caso de los dos trenes. La única forma de saber que nos estamos moviendo es mirando a objetos que no se muevan con nosotros: objetos como las estrellas y el sol. Lo que vemos es el movimiento relativo, e igual que en el caso de los trenes, da la sensación de que estamos quietos y son las estrellas y el sol los que se mueven por el cielo.



Si la Tierra rota a más de 1000 de kilómetros por hora, ¿por qué cuando saltamos hacia arriba no caemos en un lugar diferente? Bueno, cuando estás en un tren que viaja a 100 kilómetros por hora, puedes saltar hacia arriba y seguirás cayendo en la misma posición dentro del tren. Puedes pensar que el tren te arrastra hacia delante cuando saltas, pero no tienes esa sensación porque todo alrededor se mueve también hacia delante, a la misma velocidad. Puedes lanzar una pelota al aire en un tren y volverá a caer en el mismo sitio. Puedes jugar un partido perfecto de pimpón en un tren, siempre que viaje con suavidad y no acelere ni frene, o trace deprisa una curva. (Pero solo si el vagón está cerrado. Si trataras de jugar

ese mismo partido en un vagón abierto, la pelota saldría volando. Esto se debe a que el aire del vagón cerrado viaja contigo, pero no ocurre lo mismo en un vagón abierto). Cuando viajas a una velocidad fija en un vagón cerrado, no importa lo deprisa que vayas, podrás seguir saltando y jugando al pimpón o a cualquier otra cosa. Sin embargo, si el tren va acelerando o frenando y saltas hacia arriba, caerás en un lugar distinto. Y el partido de pimpón en un tren que acelera, frena o toma una curva, sería bastante extraño, incluso aunque el aire dentro del vagón siga estando quieto con relación al propio vagón. Volveremos a esto más tarde para relacionarlo con lo que ocurre cuando lanzamos cosas dentro de una estación espacial en órbita.



§. Juguemos con el reloj y con el calendario

La noche da paso al día y el día da paso a la noche, dependiendo si la parte del mundo en la que estamos gira camino del sol o de la oscuridad. Pero igual de espectacular —al menos para los que vivimos lejos del ecuador— es el cambio estacional de noches cortas y días largos y cálidos en verano a noches largas y días cortos y fríos en invierno.

La diferencia entre la noche y el día es muy drástica, tanto que la mayoría de las especies animales hacen vida de día o de noche, pero

no en ambos. Normalmente duermen durante su período «inactivo». Los humanos y la mayoría de los pájaros dormimos de noche y hacemos vida diurna. Los leones, los jaguares y muchos otros mamíferos viven de noche y duermen de día.

De forma similar, los animales tienen distintas formas de gestionar el cambio entre el invierno y el verano. Muchos mamíferos desarrollan una gruesa capa de pelo para el invierno, de la que se desprenden en primavera. Muchos pájaros y también mamíferos emigran, a veces distancias enormes, para pasar el invierno cerca del ecuador, y después regresan a latitudes más altas (en el extremo norte o en el extremo sur) a pasar el verano, donde los días largos y las noches cortas proporcionan mejor alimento. Hay un ave marina, el charrán ártico, que lleva este viaje al extremo. El charrán ártico pasa el verano del norte en el Ártico. Después, en otoño, emigra al sur, pero no para en los trópicos, hace todo el camino hasta la Antártida. Algunos libros describen la Antártida como «la tierra de invernada» del charrán ártico, pero obviamente eso no tiene sentido: cuando llega a la Antártida, allí es verano austral. El charrán ártico emigra tan lejos que disfruta de dos veranos: no necesita tierra de invernada porque nunca vive un invierno. Recuerdo el comentario jocoso de un amigo que vivía en Inglaterra durante el verano y ¡se iba al África tropical a «pasar el duro invierno»!

Otro modo en el que algunos animales evitan el invierno es durmiendo. A esto se le denomina «hibernación», de la palabra latina *hibernos*, que significa «invernal». Los osos y las ardillas de tierra están entre los muchos mamíferos, y bastantes otros tipos de animales, que hibernan. Algunos animales duermen de forma continua a lo largo de todo el invierno; otros duermen la mayor parte del tiempo y tan solo se despiertan ocasionalmente para realizar actividades menores y vuelven a dormir.

Su temperatura corporal suele descender drásticamente durante la hibernación, y todo dentro de ellos se ralentiza hasta casi detenerse: sus motores internos prácticamente se paran. Hay incluso una rana en Alaska que lleva esto hasta el extremo de congelarse en un bloque de hielo, y vuelve a la vida en primavera.

Incluso los animales que, como nosotros, no hibernan ni emigran para evitar el invierno, deben adaptarse al cambio estacional. Las hojas brotan en primavera y se caen en otoño (por eso en inglés americano al otoño se le llama «fall», caer), de forma que los árboles que en verano lucen verdes, en invierno parecen desnudos y demacrados.

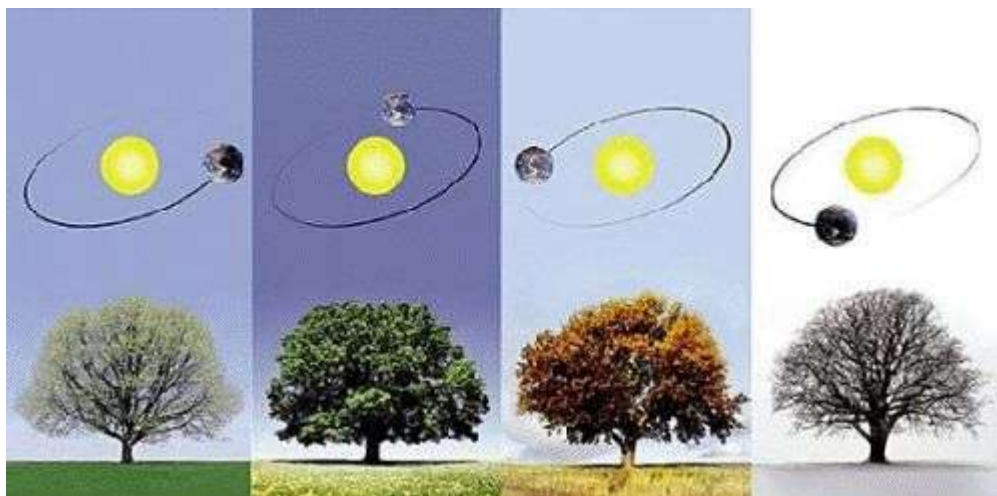
Las ovejas nacen en primavera, y por eso se benefician de las temperaturas cálidas y de la hierba recién brotada mientras crecen. Puede que nosotros no desarrollemos abrigo de pelo largo en invierno, pero a menudo los utilizamos.



Es imposible ignorar los cambios estacionales, pero ¿los entendemos? Mucha gente no. Incluso hay gente que no entiende que la Tierra tarde un año en orbitar alrededor del sol, cuando ¡eso precisamente lo que significa un año! Según una encuesta, el 19 por ciento de los británicos creen que esa órbita dura un mes, y en otros países europeos las estadísticas son similares.

Incluso entre aquellos que entienden lo que significa un año, hay muchos que creen que la Tierra está más cerca del sol en verano y más lejos en invierno. ¡Que se lo digan a un australiano mientras prepara en bañador la barbacoa para la cena de Navidad! Basta con recordar que en el hemisferio sur el mes de diciembre es pleno verano y junio es invierno, y así entenderás que las estaciones no pueden estar causadas por cambios en la distancia entre el sol y la Tierra. Tiene que haber otra explicación.

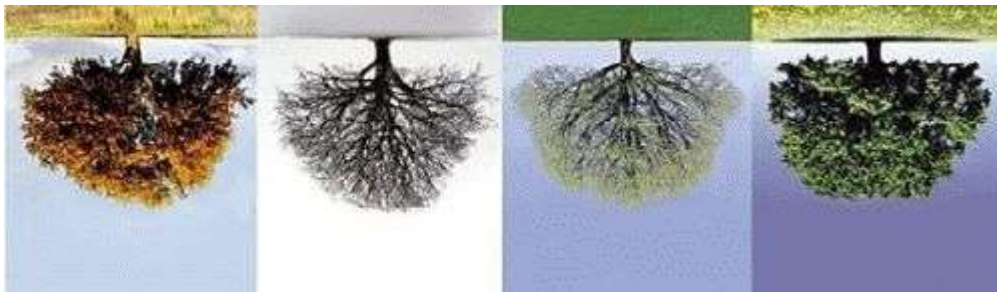
No podemos extendernos demasiado en la explicación hasta que hayamos visto qué es lo que hace que los cuerpos celestes orbiten a otros cuerpos celestes. Vamos con ello.



§. En órbita

¿Por qué se mantienen los planetas en órbita alrededor del sol? ¿Por qué cualquier cosa se mantiene en órbita alrededor de cualquier otra cosa? El primero en darse cuenta de ello, en el siglo XVII, fue *sir* Isaac Newton, uno de los mayores científicos que jamás haya existido. Newton demostró que todas las órbitas estaban controladas por la gravedad —la misma fuerza de gravedad que hace caer a las manzanas al suelo, pero a una escala mayor—. (Lamentablemente, la historia de que Newton tuvo la idea cuando le cayó una manzana en la cabeza, probablemente no sea cierta).

Newton imaginó un cañón en lo alto de una montaña muy alta, con la mira apuntando horizontalmente hacia el mar (la montaña estaba en la costa) Cada bala que lanza parece comenzar a moverse horizontalmente, pero en un momento dado empieza a caer hacia el mar. La combinación del movimiento sobre el mar y la caída hacia el mismo dibuja una graciosa curva descendente, que culmina con un chapuzón.

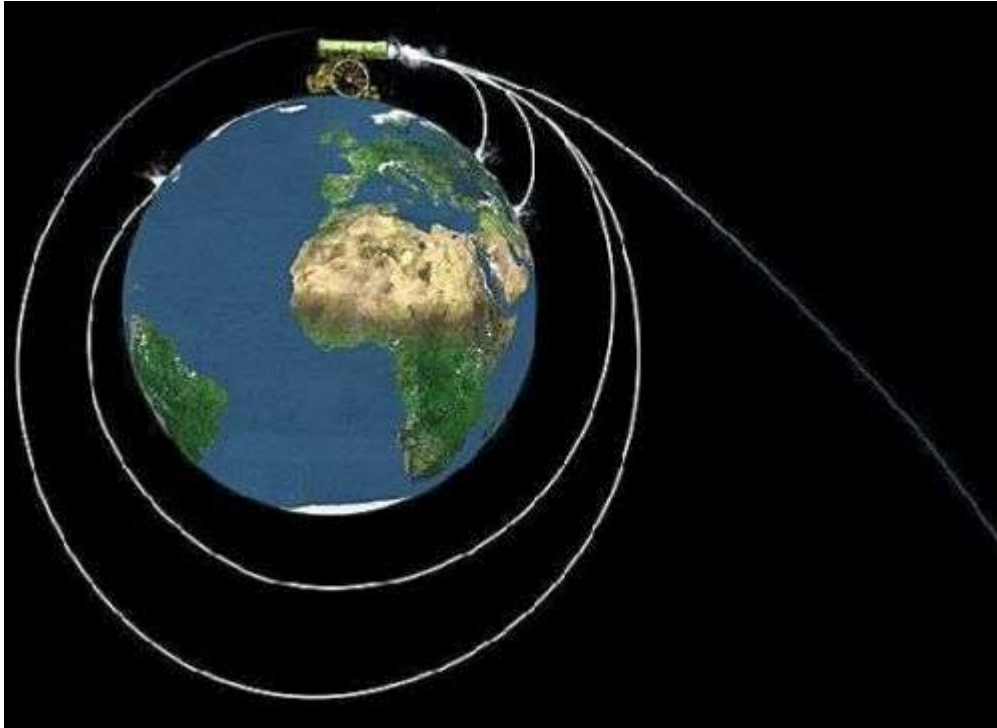


Es importante entender que la bala está cayendo todo el tiempo, incluso durante la primera parte más plana de la curva. No viaja horizontalmente durante un rato y después, como si fuera un personaje de cómic, se da cuenta ¡y cae de golpe!

La bala de cañón comienza a caer en el mismo momento en que abandona el arma, pero no la vemos caer porque se está moviendo (casi) horizontal y muy deprisa.

Hagamos ahora nuestra bala de cañón más grande y más fuerte, de manera que vuele muchas millas antes de caer finalmente al mar. Sigue trazando una curva descendente, pero es muy gradual, una curva muy plana. La dirección del vuelo es prácticamente horizontal durante gran parte del mismo, aunque siempre termina cayendo.

Sigamos imaginando un cañón cada vez mayor, cada vez más potente: tan potente que la bala viaja mucho más lejos antes de caer en el mar. Ahora ya se aprecia incluso la curvatura de la Tierra. La bala sigue «cayendo» todo el tiempo, pero como la superficie del planeta es curva, la palabra «horizontal» empieza a perder sentido. La bala de cañón sigue una curva suave, igual que antes. Pero mientras se curva suavemente hacia el mar, también el mar se aleja porque el planeta es redondo. Por eso, la bala de cañón tarda más tiempo en terminar zambulléndose en el mar. Sigue cayendo todo el tiempo, pero cae *alrededor* del planeta.



Supongo que adivinas hacia dónde va mi argumento. Imagina ahora un cañón tan potente que la bala siga viajando alrededor de la Tierra hasta que regresa al punto de partida. Aún sigue «cayendo», pero la curva de su caída coincide con la curvatura de la Tierra, de forma que viaja alrededor del planeta sin acercarse al mar. Ahora está *en órbita* y seguirá orbitando la Tierra durante un tiempo indefinido, suponiendo que no haya resistencia al aire que la frene (cosa que en realidad sí ocurriría). Seguirá «cayendo», pero esa graciosa curva de su caída continua rodeará por completo a la Tierra, una y otra vez. Se comportará como una luna en miniatura. De hecho, eso es exactamente lo que hacen los satélites: las «lunas» artificiales. Todos están «cayendo», pero en realidad nunca llegan a caer. Los que se utilizan para mantener llamadas telefónicas de

larga distancia o repetir señales de televisión están en una órbita especial denominada órbita geoestacionaria. Esto significa que la velocidad a la que giran alrededor de la Tierra ha sido ajustada con precisión para que sea exactamente la misma a la que la Tierra rota sobre su propio eje: es decir, orbitan la Tierra una vez cada 24 horas. Esto significa, si te paras a pensarlo, que siempre se encuentran exactamente sobre el mismo punto de la superficie terrestre, por eso puedes orientar tu parabólica exactamente al satélite del que quieres recibir la programación televisiva.

Cuando un objeto como, por ejemplo, una estación espacial está en órbita, se mantiene «cayendo» todo el tiempo, y todos los objetos dentro de la estación, nos parezcan ligeros o pesados, están cayendo a la misma velocidad. Este es un buen momento para detenernos y explicar la diferencia entre masa y peso, tal como te prometí en el capítulo anterior.

Todos los objetos dentro de una estación orbital carecen de peso. Pero no de masa. Su masa, tal como vimos en ese capítulo, depende del número de protones y neutrones que contengan. El peso es la fuerza con la que la gravedad atrae a su masa. En la Tierra podemos utilizar el peso para medir la masa, porque la atracción es (más o menos) la misma en todas partes. Pero como los planetas con más masa tienen una gravedad mayor, tu peso cambiaría dependiendo del planeta en el que te encontraras, mientras que tu masa seguiría siendo la misma en cualquier sitio, incluso en la estación orbital, donde no pesas nada. No tienes peso en la estación porque tú y la báscula estaréis «cayendo» a la misma velocidad (a la

que se denomina caída libre); por tanto, tus pies no ejercerán presión alguna sobre la báscula, que indicará que no tienes peso.



Pero aunque no tuvieras peso, sí tendrías masa. Si saltas con fuerza desde el «suelo» de la estación espacial, chocarás contra el «techo» (¡aunque no queda muy claro qué es el suelo y qué es el techo!), y no importa lo lejos que esté el techo, chocarás con él y te harás daño en la cabeza, igual que si hubieras caído de cabeza. Y todo lo que hay dentro de la estación espacial seguirá teniendo su propia masa. Si tuvieras una bala de cañón contigo en la cabina, flotaría como si no tuviera peso, lo que podría hacerte pensar que se trataba de un balón de playa del mismo tamaño. Pero si intentaras lanzarlo por la

cabina, notarías enseguida que no es una pelota de playa. Sería complicado lanzarla, y probablemente saldrías disparado en sentido opuesto si lo intentas. La bala de cañón parecería pesada, incluso aunque no mostrara ninguna tendencia particular a ir «hacia abajo», hacia el suelo de la estación espacial. Si lograras lanzar la bola de cañón por la habitación, se comportaría como un objeto pesado cuando golpeará algo en su camino, y no sería nada bueno si lo hiciera contra la cabeza de tus compañeros astronautas, tanto directamente como después de rebotar en la pared. Si golpeará a otra bola de cañón, las dos rebotarían como si fueran «pesadas», a diferencia de, digamos, un par de pelotas de pimpón, que también rebotarían pero de forma mucho más ligera. Espero que esto te dé una idea de la diferencia entre peso y masa. En una estación espacial, una bola de cañón tiene mucha más masa que un globo, aunque ambas tengan el mismo peso: cero.

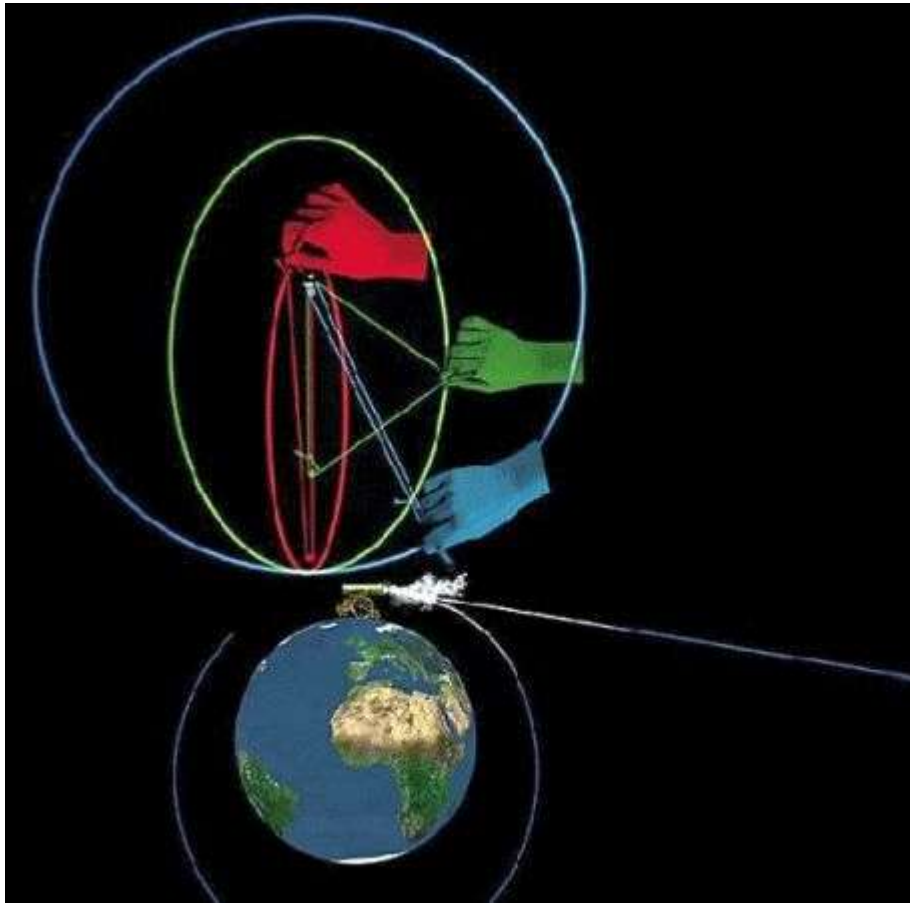
§. Huevos, elipses y cómo escapar de la gravedad

Volvamos a nuestro cañón en la cima de la montaña, y hagámoslo aún más potente. ¿Qué ocurrirá? Bueno, ahora necesitamos familiarizarnos con el descubrimiento del gran científico alemán Joannes Kepler, que vivió justo antes que Newton. Kepler demostró que esa graciosa curva con la que las cosas orbitan a otras cosas en el espacio no es en realidad un círculo, sino algo que los matemáticos conocen desde la Grecia antigua como «elipse». Una elipse tiene una forma parecida a un huevo (solo parecida: los huevos no son elipses perfectas). Un círculo es un caso especial de

elipse —imagina un huevo muy blando y aplástalo de manera que parezca una bola de pimpón—.

Existe una forma muy sencilla de dibujar una elipse, y al mismo tiempo te permitirá darte cuenta de que un círculo es un caso especial de elipse. Coge un trozo de hilo y forma con él un aro cerrado atando juntos los extremos, con el nudo más pequeño que puedas. Ahora clava una chincheta en un cuaderno de papel, coloca el hilo alrededor de la chincheta y un lápiz en el extremo opuesto, tensa el hilo y dibuja alrededor de la chincheta. Obviamente dibujarás un círculo.

Ahora coloca una segunda chincheta junto a la otra, tan cerca que se toquen. Seguirás dibujando un círculo porque las dos chinchetas están tan cerca que funcionan como una sola. Pero ahora viene la parte interesante. Separa unos cuantos centímetros las chinchetas. Ahora, cuando dibujes estirando al máximo el hilo, la forma que producirás no será un círculo, será una elipse con forma de huevo. Cuanto más lejos coloques las chinchetas, más estrecha será la elipse. Cuanto más cerca las coloques, más ancha será —más circular—, hasta que las dos chinchetas se unan en una sola y la elipse se convierta a su vez en un círculo —el caso especial—.



Ahora que ya sabemos lo que es una elipse, podemos volver a nuestro potentísimo cañón. Ya ha lanzado una bala en una órbita que asumimos como prácticamente circular. Si lo hacemos ahora aún más potente, lo que ocurrirá es que dicha órbita se hará más «estrecha», una elipse menos circular. Eso es lo que se denomina una «órbita excéntrica». Nuestra bala se aleja de la Tierra, después gira y vuelve a caer. La Tierra es una de las dos «chinchetas». La otra «chincheta» en realidad no existe como objeto sólido, pero puedes suponer que es como en una chincheta imaginaria en el espacio exterior. La chincheta imaginaria ayuda a mucha gente a entender las matemáticas, pero si te resulta confusa, olvídate de

ella. Lo importante aquí es entender que la Tierra no está en el centro del «huevo». La órbita se estrecha más en el extremo más alejado de la Tierra (el lado de la chincheta imaginaria) que en el otro (el lado en el que la Tierra es la «chincheta»).

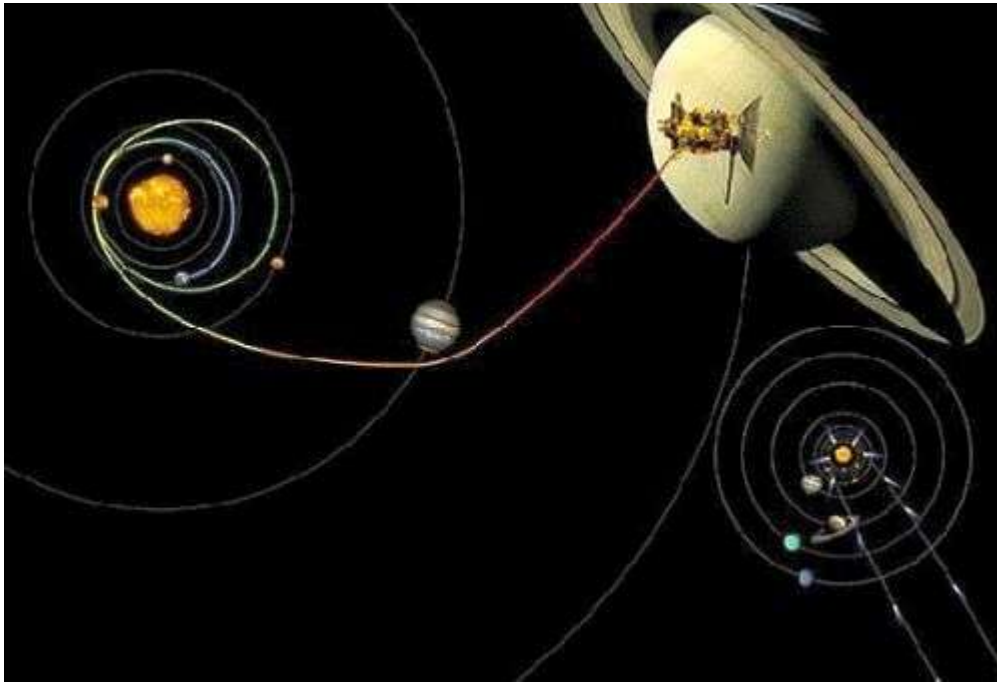
Sigamos haciendo nuestro cañón cada vez más potente. La bala ahora viaja muy muy lejos de la Tierra, y parece como si al final tiráramos de ella para que volviera a la Tierra. La elipse ahora es muy larga y estrecha. Y llegará un momento en el que dejará de ser una elipse: lanzamos la bala aún más rápido y ahora esa velocidad extra la envía más allá del punto de no retorno, donde la gravedad terrestre ya no puede hacer que vuelva. Ha alcanzado la «velocidad de escape» y desaparece para siempre (o hasta que sea capturada por la gravedad de otro cuerpo, como el sol).

Nuestro cañón cada vez más potente nos ha servido para ilustrar todos los pasos necesarios para establecer una órbita. Primero la bala simplemente cae al mar. Después, a medida que se aumenta la fuerza, la curva de su trayectoria se hace más horizontal, hasta que la bala alcanza la velocidad suficiente para entrar en una órbita casi circular (recuerda que un círculo es un caso especial de elipse) Después, a medida que la velocidad aumenta más y más, la órbita se hace menos circular y más alargada, más claramente elíptica. Por último, la elipse se estira tanto que deja de ser una elipse: la bala alcanza la velocidad de escape y desaparece.

La órbita de la Tierra alrededor del sol es técnicamente una elipse, pero están muy cerca del caso especial del círculo. Eso mismo ocurre con el resto de planetas salvo Plutón (que en cualquier caso

ya no se considera un planeta). Un cometa, por el contrario, tiene una órbita con forma de huevo muy estrecho y alargado. Las «chinchetas» que utilizas para dibujar su elipse están muy separadas.

Una de las dos «chinchetas» en el caso del cometa es el sol. Una vez más, la otra chincheta no es un objeto real en el espacio: tendrás que imaginarla. Cuando un cometa está a la distancia más alejada del sol (llamada «afelio»), viaja a su velocidad más lenta. Todo el tiempo está en caída libre, pero parte del tiempo cae alejándose del sol, en lugar de acercarse hacia él. Rodea muy despacio la esquina del afelio y después vuelve a caer hacia el sol, acelerando cada vez más hasta rodear el sol (la otra «chincheta»), y alcanza su mayor velocidad cuando está en el punto más cercano al sol, llamado perihelio. (Afelio y perihelio proceden del nombre griego del dios sol, Helios; *peri* significa en griego «cerca» y *apo* significa «lejos»). El cometa rodea a toda velocidad el sol y el perihelio, y sigue a máxima velocidad hasta el otro lado del perihelio. Después de pasearse alrededor del sol, el cometa pierde velocidad gradualmente a medida que se aleja del mismo, camino del afelio, donde alcanzará su velocidad más baja; y el ciclo se repite una y otra vez.



Los ingenieros espaciales utilizan algo denominado efecto tirachinas para reducir el consumo de combustible de sus cohetes. La sonda espacial Cassini, diseñada para visitar el lejano planeta Saturno, viajó hasta allí por una ruta que parecería extraña, pero que en realidad estaba cuidadosamente ideada para aprovechar el efecto tirachinas. Utilizando mucho menos combustible del que habría necesitado para volar directamente hacia Saturno, Cassini se aprovechó de la gravedad y el movimiento orbital de tres planetas por el camino —Venus (dos veces), después una vuelta alrededor de la Tierra y después un último lanzamiento desde Júpiter—. En cada caso cayó hasta el planeta como un cometa, ganando velocidad al aprovechar la rotación de dicho planeta alrededor del sol. Estos cuatro lanzamientos aceleraron a Cassini hasta lanzarla al sistema

de Saturno, con sus anillos y sus 62 lunas, desde donde ha ido enviando maravillosas fotografías.

La mayoría de los planetas, como ya dije, orbitan alrededor del sol en elipses casi circulares. Plutón es distinto, no solo por su pequeño tamaño que ha hecho que ya no se le denomine nunca más planeta, sino porque además tiene una órbita excéntrica considerable. Gran parte del tiempo está fuera de la órbita de Neptuno, pero en su perihelio se cruza con ella y llega a estar más cerca del sol que Neptuno, con su órbita prácticamente circular. No obstante, incluso la órbita de Plutón es mucho menos excéntrica que la de un cometa. El más famoso de todos, el cometa Halley, se hace visible para nosotros únicamente cuando se acerca a su perihelio, cuando está más cerca del sol y refleja la luz solar. Su órbita elíptica lo lleva muy muy lejos, y regresa a nuestro vecindario solo cada 75 o 76 años. Yo lo vi en 1986 y se lo mostré a mi hija Juliet, que aún era un bebé. Le susurré al oído (aunque por supuesto no podía entender lo que le decía, insistí en hacerlo) que yo nunca volvería a verlo, aunque ella tendría otra oportunidad cuando regresara en 2061.

La «cola» de un cometa, por cierto, es un tren de polvo, pero no fluye de la cabeza del cometa como podríamos pensar. Lo que ocurre es que la «golpea» una corriente de partículas procedente del sol, a la que llamamos viento solar. Por eso la cola del cometa siempre apunta hacia el sol, no importa en qué dirección vaya. Unos ingenieros japoneses están desarrollando un proyecto increíble, que antes solo podíamos imaginar en las historias de ciencia ficción, y que consiste en utilizar el viento solar para propulsar naves

equipadas con «velas» gigantescas. Igual que los yates de vela utilizan el viento real en el mar, los yates espaciales podrían teóricamente utilizar el viento solar para viajar de forma económica a mundos muy lejanos.

§. Un vistazo de refilón al verano

Ahora que ya entendemos las órbitas, podremos volver a la pregunta de por qué tenemos invierno y verano. Algunas personas, lo recordarás, piensan erróneamente que se debe a que estamos más cerca del sol en verano y más lejos en invierno. Esa sería una buena explicación si la Tierra tuviera una órbita como la de Plutón. De hecho, el invierno y el verano en Plutón (ambos mucho más fríos que cualquier cosa que podamos experimentar aquí) están causados exactamente por ese motivo.

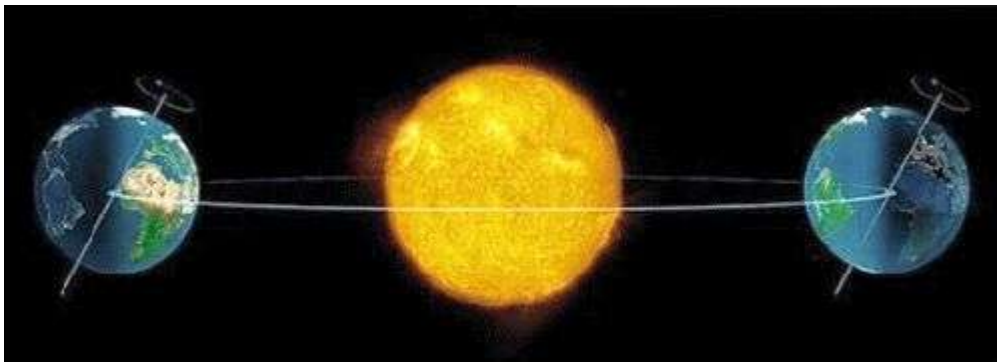
Sin embargo, la órbita de la Tierra es prácticamente circular, de forma que la cercanía del planeta al sol no puede ser lo que cause el cambio de las estaciones. Por lo que respecta a este asunto, la Tierra está de hecho más cerca del sol (perihelio) en enero y más lejos (afelio) en julio, pero la órbita elíptica es prácticamente circular, lo que hace que esta diferencia sea casi inapreciable.

¿Qué es entonces lo que causa la diferencia entre invierno y verano? Es algo distinto. La Tierra gira alrededor de un eje, y ese eje está inclinado. Esa inclinación es el verdadero motivo por el que tenemos estaciones. Veamos cómo funciona.

Como ya dije antes, puedes imaginar el eje como una varilla que atraviesa el globo desde el polo norte hasta el polo sur. Piensa ahora

en la órbita de la Tierra alrededor del sol como en una rueda gigantesca, con su propio eje, esta vez una varilla que atraviesa el sol de polo a polo. Estos dos ejes podrían haber sido perfectamente paralelos entre sí, de forma que la Tierra no tuviera «inclinación» alguna, en cuyo caso el sol de mediodía siempre parecería estar directamente sobre el ecuador, y la noche y el día serían de la misma longitud. No habría estaciones. El ecuador estaría perpetuamente caliente y haría más frío a medida que nos alejáramos de él y nos acercáramos a cualquiera de los polos.

Podrías buscar el frío si te alejaras del ecuador, pero no esperando al invierno, porque no habría invierno. Tampoco verano, ni estaciones de ningún tipo.



De hecho, los dos ejes no son paralelos. El eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto al eje de nuestra órbita alrededor del sol. La inclinación no es demasiado grande —unos 23,5 grados—. Si fuera de 90 grados (que es más o menos la del planeta Urano), el polo norte estaría apuntando directamente hacia el sol en un momento del año (al que podríamos llamar medio verano del

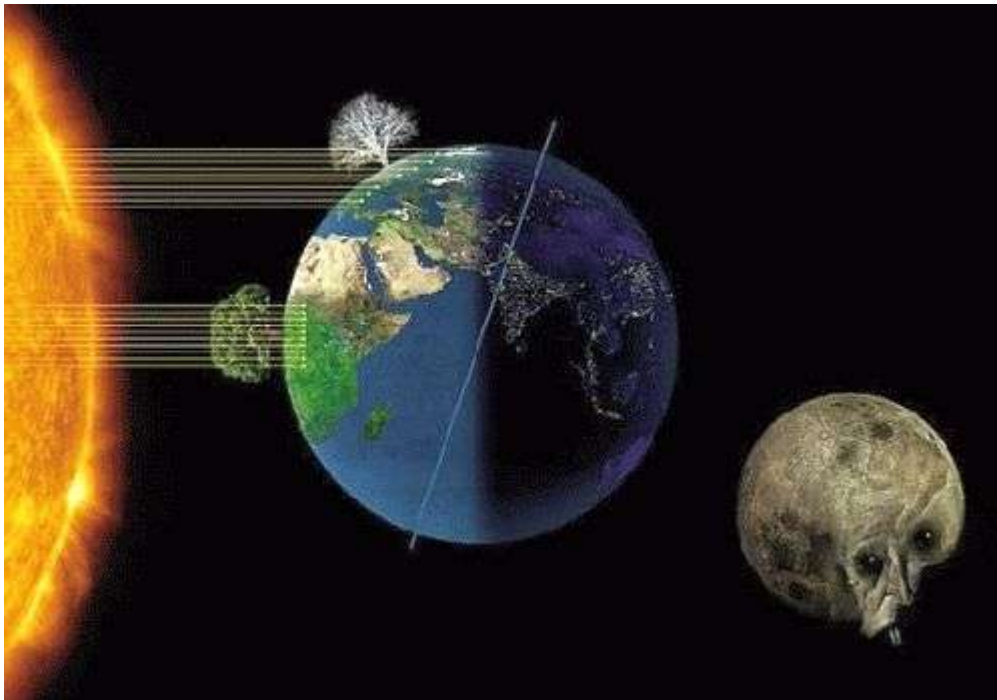
norte), y en el extremo contrario en el medio invierno del norte. Si la Tierra fuera como Urano, en mitad del verano el sol estaría todo el tiempo sobre el polo norte (no habría noche allí) mientras que en el polo sur estaría oscuro y haría mucho frío, sin día. Seis meses después, justo lo contrario.

Como nuestro planeta está desviado únicamente 23,5 grados en lugar de 90 grados, estamos más o menos a la cuarta parte del camino entre no tener inclinación alguna ni estaciones y la inclinación absoluta del caso de Urano. Esta inclinación es suficiente para que, como ocurre en Urano, el sol nunca se oculte en el polo norte terrestre durante el verano. Siempre es de día, pero a diferencia de Urano, el sol no está en la vertical. Parece desplazarse por el cielo a medida que rota la Tierra, pero nunca baja por debajo del horizonte. Esto ocurre en todo el círculo polar ártico. Si te quedas quieto en el círculo polar ártico, por ejemplo, en el noroeste de Islandia, en un día de verano, verás el sol rozar el horizonte norte, a medianoche, pero nunca se ocultará. Después volverá a su posición más alta (aunque no muy alta) a mediodía.

En el norte de Escocia, que está un poco alejado del círculo ártico, el sol de verano sí cae por debajo del horizonte, lo suficiente para crear una especie de noche, pero no una noche muy oscura, porque el sol nunca queda demasiado por debajo del horizonte.

Por tanto, la inclinación del eje terrestre explica por qué tenemos invierno (cuando la parte del planeta en la que estamos se aleja del sol) y verano (cuando está más cerca), y por qué tenemos días cortos en invierno y días largos en verano. ¿Pero explica esto por qué hace

tanto frío en invierno y tanto calor en verano? ¿Por qué el sol parece calentar más cuando está directamente en la vertical que cuando está más bajo, cerca del horizonte? Es el mismo sol, así que, ¿no debería dar el mismo calor independientemente del ángulo en el que estuviera? No.



Puedes pasar por alto el hecho de que estamos ligeramente más cerca del sol cuando la inclinación nos acerca hacia él. Se trata de una diferencia infinitesimal (solo unos cuantos miles de kilómetros) comparada con la distancia total al sol (unos 150 millones de kilómetros) y aún más insignificante comparada con la diferencia entre la distancia del sol al perihelio y la distancia del sol al afelio (cerca de cuatro millones de kilómetros). No, lo que importa es en parte el ángulo con el que nos golpean los rayos solares y en parte el

hecho de que los días son más largos en verano y más cortos en invierno. Es ese *ángulo* el que hace que el sol se sienta más caliente a mediodía que a final de la tarde, y es ese ángulo el que hace más importante ponerse más crema solar a mediodía que a final de la tarde. Es una combinación del ángulo y de la longitud del día lo que hace que las plantas crezcan más en verano que en invierno, con todo lo que eso trae consigo.

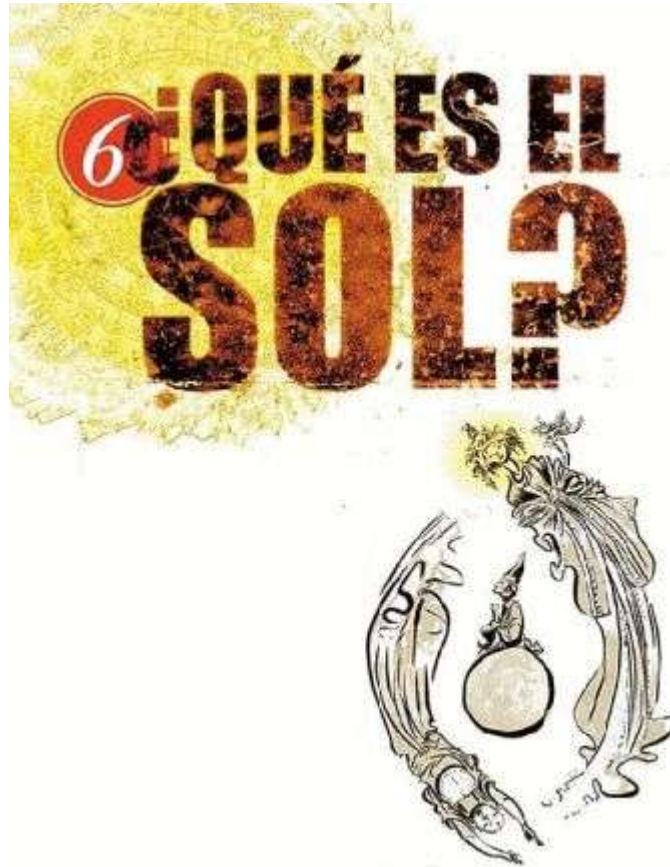
¿Por qué marca ese ángulo una diferencia tan grande? Veamos una forma de explicarlo. Imagina que estás tomando el sol a mediodía en pleno verano y que el sol está justo en la vertical. Un centímetro cuadrado de piel en mitad de tu espalda está siendo golpeado por fotones (pequeñas partículas de luz) en un porcentaje que podrías calcular con un medidor de luz. Ahora, si tomas el sol a mediodía en invierno, cuando el sol está relativamente bajo en el cielo debido a la desviación de la Tierra, la luz alcanza nuestro planeta en un ángulo más «de refilón», por tanto, el número de fotones que caen en tu piel se «reparte» en un área más grande. Esto significa que aquel centímetro cuadrado de antes, recibe un porcentaje menor de los fotones disponibles de lo que hace en pleno verano. Lo mismo que ocurre con tu piel ocurre con las plantas, y eso sí es realmente importante, porque las plantas utilizan la luz solar para crear su alimento.

La noche y el día, el invierno y el verano son los grandes ritmos alternativos que regulan nuestras vidas, y las vidas de todas las criaturas vivientes, salvo quizá aquellas que viven en la oscuridad de los profundos fondos marinos. Otro conjunto de ritmos que no es

tan importante para nosotros pero sí para ciertas criaturas, como las que viven en la costa, son los ritmos impuestos por la órbita de la luna, que actúa principalmente a través de las mareas. Los ciclos lunares también son objeto de antiguos y curiosos mitos, sobre vampiros y hombres lobo, por ejemplo. Pero dejaremos este asunto ahora y pasaremos al propio sol.

Capítulo 6

¿Qué es el sol?



Contenido:

- §. *¿Cómo funcionan las estrellas?*
- §. *Biografía de una estrella*
- §. *Supernovas y polvo de estrellas*
- §. *Gira que te gira*
- §. *Asteroides y estrellas fugaces*
- §. *La luz de nuestras vidas*

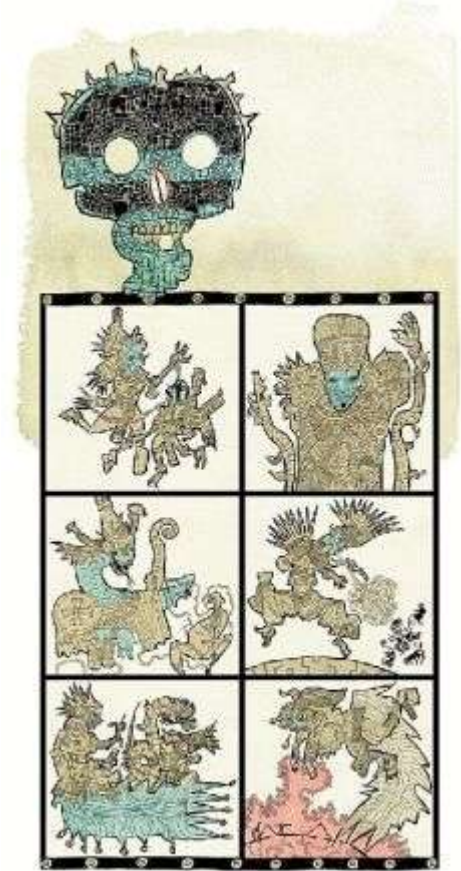
El sol es tan deslumbrantemente brillante, tan reconfortante en los climas fríos, tan inclementemente abrasador en los cálidos, que no es de extrañar que muchas tribus y pueblos antiguos lo hayan considerado un dios. El culto al dios sol suele estar acompañado por el culto a la luna, y el sol y la luna suelen representarse como de sexos opuestos. La tribu Tiv de Nigeria y otras partes del oeste de África cree que el sol es el hijo de su dios supremo, Awondo, y que la luna es la hija de Awondo. La tribu Barotse del sudeste de África cree que el sol es el marido de la luna, no su hermano. Los mitos tratan a menudo al sol como un varón y a la luna como una hembra, pero también los hay que lo hacen al revés. En la religión sintoísta japonesa el sol es la diosa Amaterasu y la luna es su hermano Ogetsuno.

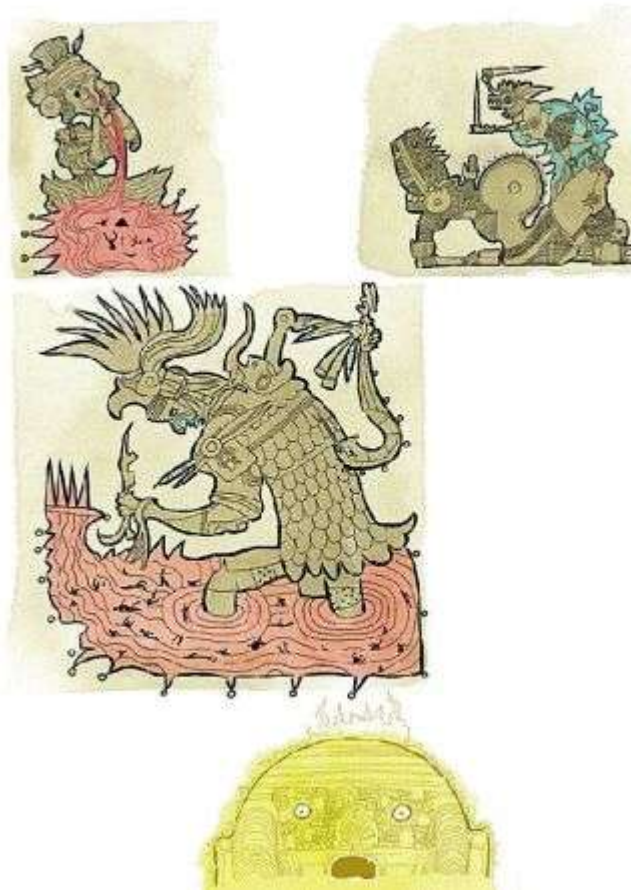
Las grandes civilizaciones que florecieron en el sur y en el centro de América en el siglo XV antes de la llegada de los españoles, también humanizaban al sol. Los incas de los Andes creían que el sol y la luna eran sus antepasados. Los aztecas de México compartían muchos de sus dioses con civilizaciones más antiguas de la zona, como los mayas. Muchos de esos dioses tenían cierta conexión con el sol, y en algunos casos eran el propio sol. El «mito azteca de los cinco soles» mantiene que hubo cuatro mundos antes del actual, cada uno de ellos con su propio sol. Los cuatro primeros mundos fueron destruidos uno tras otro por catástrofes, provocadas a menudo por los dioses. El primer sol fue el llamado Tezcatlipoca Negro. Luchó con su hermano, Quetzalcóatl, quien le golpeó con su bastón y le expulsó del cielo. Después de un período de oscuridad,

sin sol, Quetzalcóatl se convirtió en el segundo sol. Enojado, Tezcatlipoca convirtió a todos los humanos en monos, y Quetzalcóatl, en respuesta, expulsó a todos los monos y se convirtió en el segundo sol.

El dios Tláloc se convirtió después en el tercer sol. Enfadado con Tezcatlipoca por haberle robado a su esposa, Xochiquétzal decidió impedir que cayera la lluvia, lo que provocó una terrible sequía. La gente suplicaba sin parar por la lluvia, y Tláloc terminó hartándose y envió una lluvia de fuego. Eso quemó el mundo y los dioses tuvieron que comenzar todo de nuevo.

El cuarto dios (diosa) sol fue la nueva esposa de Tláloc, Chalchiuhtlicue. Comenzó haciéndolo bien, pero después Tezcatlipoca se sintió tan ofendido por ella que lloró lágrimas de sangre durante 52 años, de forma ininterrumpida. Esto inundó completamente el mundo y una vez más los dioses tuvieron que empezar desde cero. ¿No es extraño, por cierto, que los mitos especifiquen con exactitud estos pequeños detalles? ¿Cómo decidieron los aztecas que lloró 52 años, y no 51 o 53?

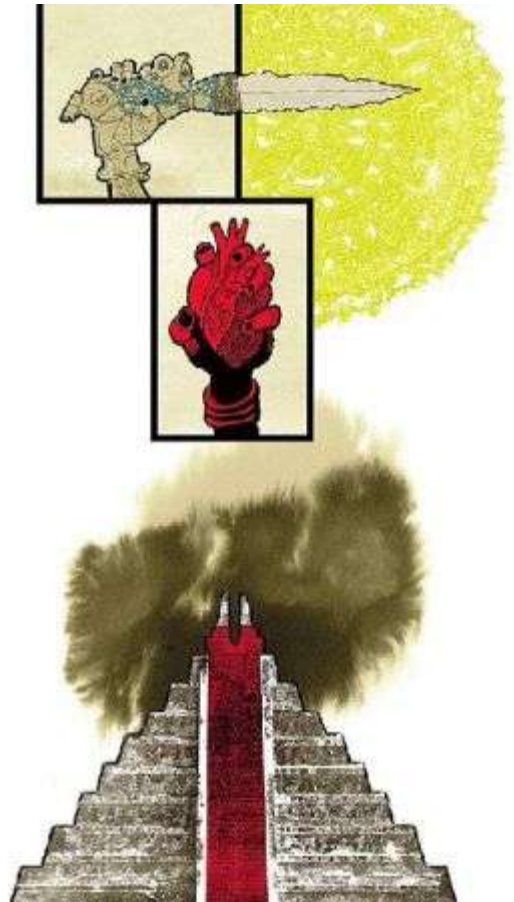




El quinto sol, que los aztecas creyeron que es el que aún permanece en el cielo, fue el dios Tonatiuh, conocido también como Huitzilopochtli. Su madre, Coatlicue, lo trajo al mundo después de haber quedado encinta accidentalmente por un manojo de plumas. Esto puede parecerle extraño, pero cosas como esas habrían resultado normales para gente educada con mitos tradicionales (otra diosa azteca quedó encinta por un jícaro, que es la piel seca de una fruta similar a la calabaza). Los 400 hijos de Coatlicue se enfurecieron tanto al ver que su madre estaba embarazada de nuevo que trataron de decapitarla. No obstante, tuvo tiempo de dar a luz a Huitzilopochtli. Nació completamente armado y no tardó en matar a

sus 400 hermanastros, a todos salvo a unos pocos que escaparon «hacia el sur» Huitzilopochtli asumió entonces sus obligaciones como quinto dios sol.

Los aztecas creían que debían sacrificar a víctimas humanas para apaciguar al dios sol, que en caso contrario no se levantaría en el cielo por el este cada mañana. Aparentemente, no se les ocurrió probar el experimento sin realizar sacrificios, para ver si el sol se levantaba o no. Los sacrificios en sí eran famosos por su violencia. Al final de la época azteca, cuando llegaron los españoles (con su propio abanico de horrores), el culto al sol había alcanzado su clímax de



violencia. Se calcula que entre 20 000 y 80 000 seres humanos fueron sacrificados en la reinauguración del Gran Templo de Tenochtitlan, en 1487. Se podrían haber ofrecido muchos otros regalos para apaciguar al rey sol, pero lo que él quería era sangre humana y corazones humanos aún latiendo. Uno de los motivos principales de la guerra fue reunir suficientes prisioneros para poder sacrificarlos, normalmente extrayéndoles el corazón. La ceremonia solía tener lugar en un lugar elevado (para estar más cerca del sol), por ejemplo, encima de una de las magníficas

pirámides que han hecho famosos a los mayas, los incas y los aztecas. Cuatro sacerdotes sujetaban a la víctima sobre el altar mientras un quinto sacerdote empuñaba el cuchillo. Lo hacía lo más rápido posible para sacar el corazón y que aún siguiera latiendo cuando se lo ofrecía al sol. Mientras, los cuerpos ensangrentados y sin corazón se dejaban caer rodando por la ladera de la colina o de la pirámide hasta abajo, donde eran recogidos por los ancianos y los tullidos, a menudo para comérselos en ceremonias rituales.

También asociamos las pirámides con otras civilizaciones antiguas como la de Egipto. Los antiguos egipcios también adoraban al sol. Uno de los de sus principales dioses fue Ra, el dios del sol.

Una leyenda egipcia afirmaba que la curvatura del cielo era el cuerpo de la diosa Nut, tumbada sobre la Tierra. Cada noche la diosa se tragaba al sol, y a la mañana siguiente lo traía de nuevo al mundo.

También asociamos las pirámides con otras civilizaciones antiguas como la de Egipto. Los antiguos egipcios también adoraban al sol. Uno de los de sus principales dioses fue Ra, el dios del sol.



Una leyenda egipcia afirmaba que la curvatura del cielo era el cuerpo de la diosa Nut, tumbada sobre la Tierra. Cada noche la diosa se tragaba al sol, y a la mañana siguiente lo traía de nuevo al mundo.

Distintos pueblos, entre otros los antiguos griegos y los escandinavos, tenían leyendas sobre un sol que conducía un carruaje por el cielo. El dios griego del sol era Helios y ha dado su nombre a distintos términos científicos asociados con el sol, tal como vimos en el Capítulo 5.



En otros mitos, el sol no es un dios, sino una de las primeras creaciones de un dios. En el mito de la creación de las tribus hebreas de Oriente Medio, el dios tribal YHWH creó la luz en los seis primeros días de la creación —pero después, sorprendentemente, ¡no creó el sol hasta el cuarto día!—. «Dios hizo las dos grandes luces, la gran luz como gobernadora del día y la pequeña luz como gobernadora de la noche, e hizo también las estrellas». No nos dice nada sobre el origen de la luz del primer día, antes de que el sol y las estrellas existieran.

Pero ya es hora de volver a la realidad y a la naturaleza real del sol, tal como la confirman las pruebas científicas.



El sol es una estrella. No es distinta de otros miles de estrellas, salvo porque está cerca de nosotros y nos parece mucho mayor y más brillante que las demás. Por ese motivo, el sol, a diferencia de cualquier otra estrella, nos proporciona calor, daña nuestros ojos si lo miramos directamente y quema nuestra piel si permanecemos

demasiado tiempo bajo sus rayos. No está *solo* un poquito más cerca que cualquier otra estrella; está muchísimo más cerca. Es complicado entender lo lejos que están las estrellas, lo grande que es el espacio. De hecho, es más que complicado, es prácticamente imposible.

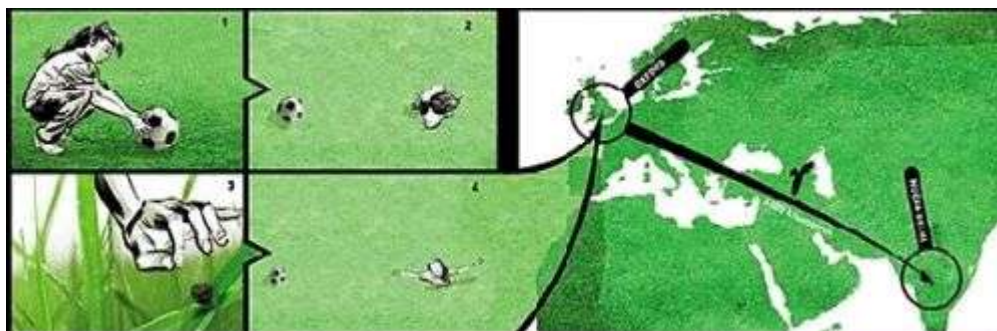
Hay un magnífico libro de John Cassidy titulado *Earthsearch* (algo así como «Buscando la Tierra») que trata de hacer una aproximación al tema utilizando un modelo a escala.

Acércate hasta un campo bien grande con un balón de fútbol y colócalo en el suelo para representar el sol.

Camina después 25 metros y deja caer un grano de pimienta para representar el tamaño de la Tierra y su distancia al sol.

La luna, para mantener la misma escala, debería ser una cabeza de alfiler, y estaría a tan solo cinco centímetros del grano de pimienta.

Pero la siguiente estrella más cercana, Próxima Centauri, manteniendo la misma escala, sería otro balón de fútbol (aunque algo más pequeño) ubicado digamos...



Puede que haya o no planetas girando alrededor de Próxima Centauri, pero lo que es seguro es que hay planetas orbitando otras estrellas, quizá la mayoría de ellas. Y la distancia entre cada estrella y sus planetas es normalmente pequeña en comparación con la distancia entre una estrella y otra.

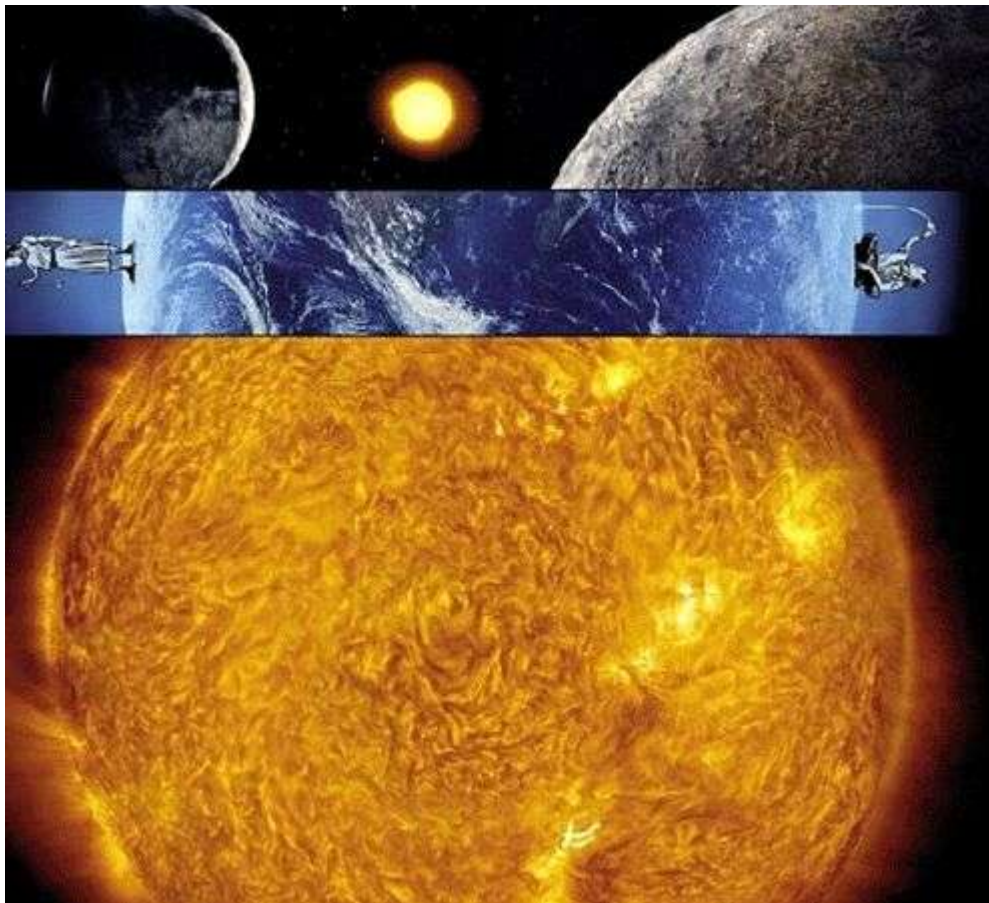
§. ¿Cómo funcionan las estrellas?

La diferencia entre una estrella (como el sol) y un planeta (como Marte o Júpiter) es que las estrellas son brillantes y calientes, y las vemos gracias a su propia luz, mientras que los planetas son relativamente fríos y los vemos únicamente por la luz que las estrellas cercanas reflejan en ellos. Dicha diferencia, a su vez, es el resultado de la diferencia de tamaño. Veamos cómo.

Cuanto mayor es un objeto, mayor es la fuerza gravitatoria que contiene su centro. Todo tira de todo, por gravedad. Incluso tú y yo ejercemos una atracción gravitatoria entre nosotros. Pero esa atracción es tan débil que es imposible notarla, a menos que uno de los dos cuerpos sea muy grande. La Tierra es muy grande y por eso sentimos una fuerte atracción hacia ella, y cuando soltamos algo, cae «hacia abajo», es decir, hacia el centro de la Tierra.

Una estrella es mucho mayor que un planeta como la Tierra, por tanto, su atracción gravitatoria es mucho más grande. El núcleo de una gran estrella está sometido a una enorme presión debido a las gigantescas fuerzas gravitatorias que atraen toda la materia hacia el centro. Y cuanto mayor es la presión dentro de una estrella, más caliente se vuelve. Cuando la temperatura alcanza niveles muy altos

—mucho más de lo que tú o yo podamos imaginar—, la estrella comienza a comportarse como una especie de bomba de hidrógeno de acción lenta, expulsando ingentes cantidades de calor y luz, y por eso las vemos brillar en el cielo nocturno. El calor intenso tiende a hacer que la estrella se hinche como un globo, pero al mismo tiempo la gravedad tira de ella.

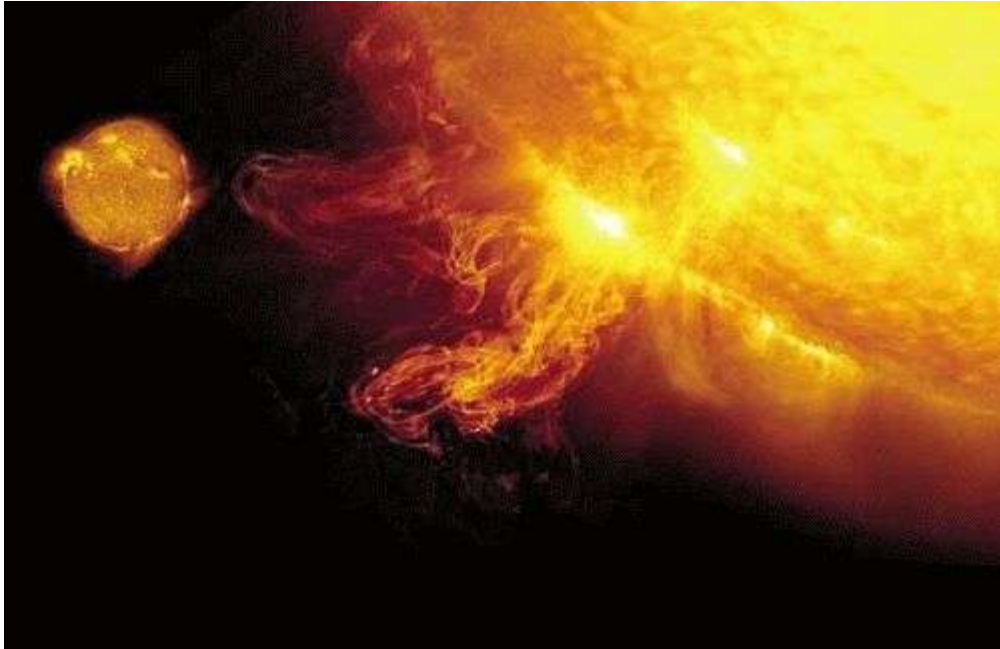


Existe un equilibrio entre la fuerza hacia fuera del calor y la fuerza hacia dentro de la gravedad. La estrella actúa como su propio termostato. Cuanto más caliente se pone, más se infla, y cuanto mayor es, menos concentrada es la masa de materia en el centro, y

por eso se enfría un poco. Esto significa que empieza a contraerse de nuevo, y vuelve a calentarse, y así una y otra vez. Lo he contado como si las estrellas palpitaran como un corazón, pero no es así. Se mantienen en un tamaño intermedio, lo que hace que conserven la temperatura adecuada para mantener su forma.

He comenzado diciendo que el sol es tan solo una estrella como muchas otras, pero en realidad hay muchos tipos de estrellas diferentes y con un amplio rango de tamaños. Nuestro sol (debajo) no es muy grande comparado con otras estrellas. Es ligeramente mayor que Próxima Centauri, pero mucho menor que la mayoría del resto de estrellas.

¿Cuál es la mayor estrella conocida? Eso depende de cómo la midamos. La estrella con una mayor distancia en superficie se llama VY Canis Majoris. De extremo a extremo (el diámetro) es 2000 veces mayor que el sol. Y el diámetro del sol es 100 veces mayor que el de la Tierra. Sin embargo, VY Canis Majoris es tan etérea y brillante que a pesar de su gigantesco tamaño, su masa solo es unas 30 veces mayor que la del sol, en lugar de los miles de millones de veces que sería si su materia fuera igual de densa. Otras, como la Estrella Pistola y la más recientemente descubiertas Eta Carinae y R136a1 (¡un nombre muy poco pegadizo!), tienen una masa 100 veces superior a la del sol, o incluso más. Y el sol tiene una masa 300.000 veces mayor que la de la Tierra, lo que significa que la masa de Eta Carinae es 30 millones de veces la de la Tierra.



Si una estrella gigante como R136a1 tiene planetas, deberán estar muy muy lejos de ella, porque si no habrían ardido instantáneamente hasta evaporarse. Su gravedad es tan enorme (debido a su gigantesca masa) que sus planetas podrían estar muy lejos de ella y aun así seguir orbitándola. Si existe ese planeta, cualquiera que viva en él probablemente verá la estrella del mismo tamaño que nosotros vemos el sol, porque aunque es mucho mayor, tendrán que estar mucho más lejos; justo a la distancia necesaria, de hecho, y justo con el mismo tamaño aparente para mantener la vida, ¡si no tampoco podrían estar allí!

§. Biografía de una estrella

El hecho real es que parece bastante improbable que haya planetas orbitando a R136a1, y mucho menos que haya vida en ellos. El

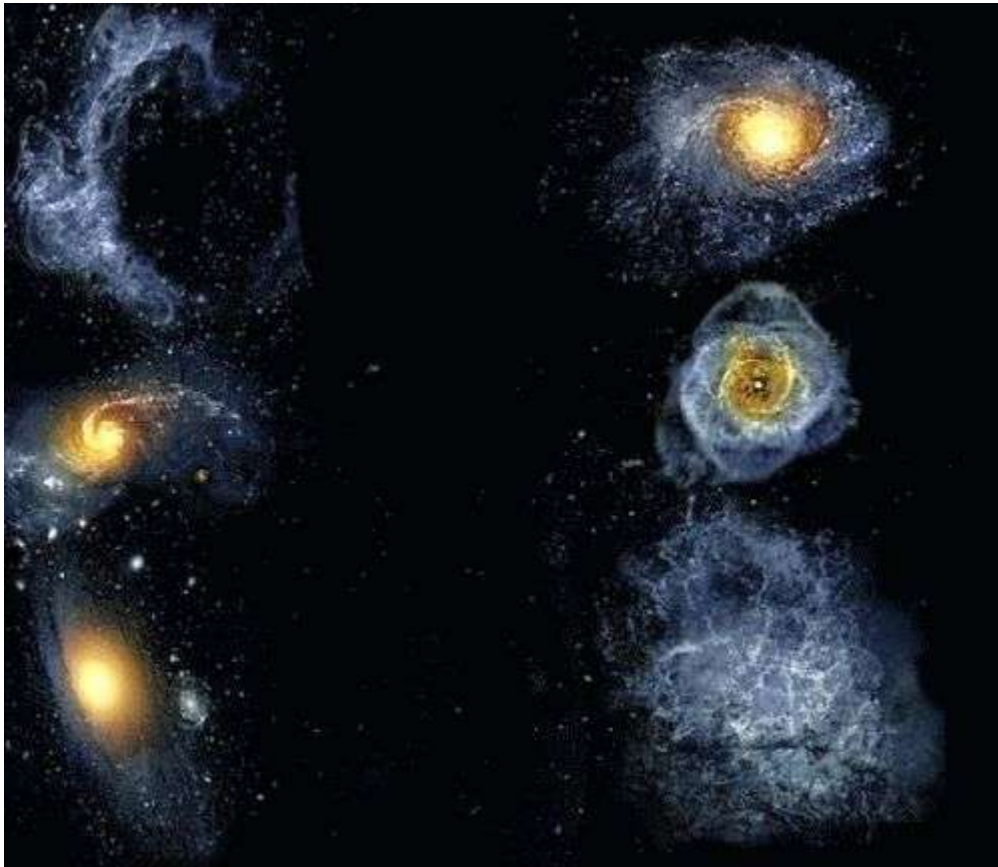
motivo es que las estrellas tan enormes tienen una vida muy corta. R136a1 probablemente solo tenga un millón de años, lo que es menos de la milésima parte de la edad del sol: y no es tiempo suficiente para que evolucione la vida.

El sol es una estrella más pequeña, más «dominante»: el tipo de estrella que tiene una biografía de miles de millones de años (no solo unos cuantos millones), durante los cuales ha pasado por una serie de etapas larguísimas, más o menos como un niño que crece, se convierte en un adulto, pasa a la mediana edad, se hace viejo y muere. Estas estrellas dominantes suelen estar compuestas principalmente de hidrógeno, el elemento más simple de todos (véase el Capítulo 4). La «bomba lenta de hidrógeno» del interior de una estrella convierte el hidrógeno en helio, el segundo elemento más simple (y que también recibe su nombre del dios griego del sol, Helios), y libera una inmensa cantidad de energía en forma de calor, luz y otros tipos de radiación. ¿Recuerdas que dije que el tamaño de una estrella es un equilibrio entre el empuje hacia fuera del calor y la atracción hacia dentro de la gravedad? Bueno, este equilibrio se mantiene prácticamente inalterable, logrando que la estrella permanezca estable durante miles de millones de años, hasta que empieza a quedarse sin combustible. Lo que suele ocurrir después es que la estrella se contrae por la desmedida influencia de la gravedad, momento en el que se desata el caos absoluto (si es que resulta posible imaginar algo más caótico que el interior de una estrella).

La biografía de una estrella es demasiado larga para que los astrónomos puedan ver más allá de un par de fotogramas de la misma. Por suerte, como se pasan el día escudriñando el cielo con sus telescopios, los astrónomos pueden encontrar gran variedad de estrellas, cada una en una etapa distinta de su desarrollo: algunas estrellas «bebé» son captadas en el momento en que empiezan a formarse a partir de nubes de gas y polvo, tal como hizo nuestro sol hace 4500 millones de años; muchas estrellas de «mediana edad» como nuestro sol; y algunas ancianas y muriendo, lo que da una visión futura de lo que ocurrirá con nuestro sol dentro de unos cuantos miles de millones de años. Los astrónomos han reunido un importante «zoológico» de estrellas, todas de distintos tamaños y en distintas etapas de sus ciclos vitales. Cada miembro de ese «zoo» muestra lo que debieron de ser los demás, o lo que terminarán siendo.

Una estrella normal como nuestro sol puede agotar su hidrógeno, y como ya he dicho, comenzar a «quemar» helio en su lugar (he entrecomillado la palabra «quemar» porque lo que ocurre es mucho más caliente que lo que entendemos por quemar). En esa etapa se denomina una «gigante roja». El sol se convertirá en una gigante roja dentro de unos 5000 millones de años, lo que significa que está más o menos en la mitad de su ciclo vital. Mucho antes de eso, nuestro pequeño planeta se habrá vuelto demasiado cálido para vivir en él. Dentro de 2000 millones de años el sol será un 15 por ciento más brillante que ahora, lo que significa que la Tierra será como es hoy Venus. Nadie podría vivir en Venus: la temperatura allí supera los

400 grados centígrados. Pero 2000 millones de años es mucho tiempo, y los humanos seguramente se habrán extinguido mucho antes de eso, de forma que no quedará nadie para freírse. O quizá nuestra tecnología haya avanzado hasta el punto de que seamos capaces de desplazar la Tierra a una órbita más confortable. Después, cuando también se acabe el helio, el sol desaparecerá en una nube de polvo y detritos, dejando un pequeño núcleo llamado enana blanca, que se enfriará y se apagará.



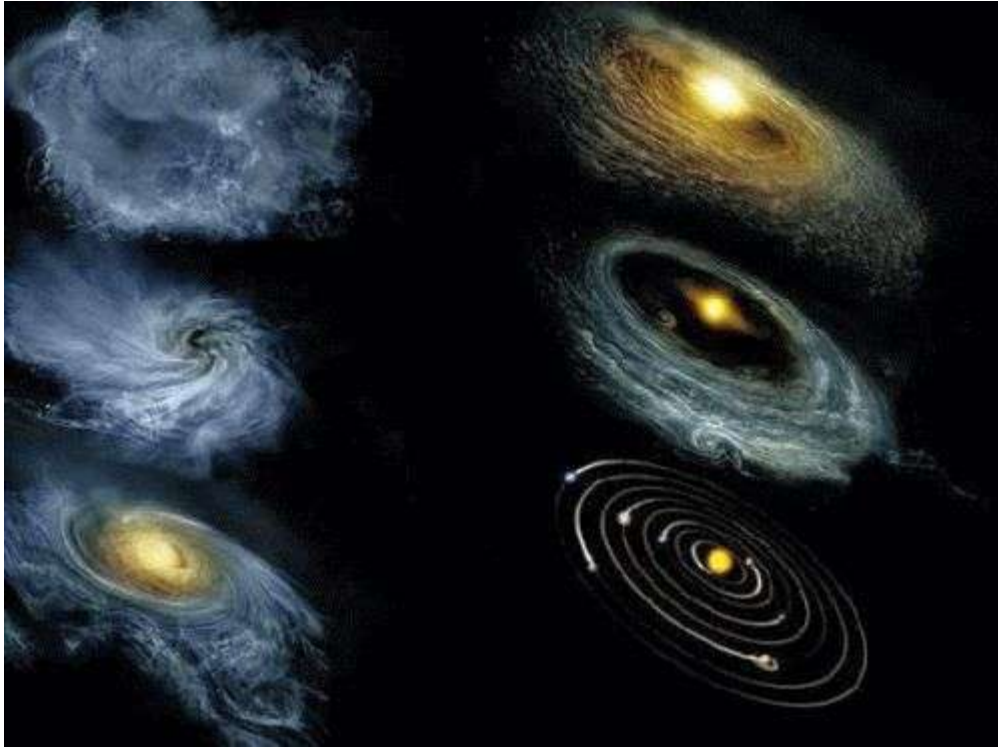
§. Supernovas y polvo de estrellas

La historia acaba de forma distinta para las estrellas que son mucho mayores y calientes que nuestro sol, como las estrellas gigantes de las que hablábamos antes. Esos monstruos «quemán» su hidrógeno mucho más deprisa, y su «bomba de hidrógeno» nuclear no se conforma con bombardear núcleos de hidrógeno para hacer núcleos de helio. Los hornos más calientes de las estrellas más grandes siguen bombardeando núcleos de helio para hacer elementos aún más pesados, y así hasta que han producido un amplio rango de átomos más pesados. Esos elementos más pesados incluyen al carbono, el oxígeno, el nitrógeno y el hierro (pero por ahora nada más pesado que el hierro): elementos abundantes en la Tierra y en todos nosotros. Después de un tiempo relativamente corto, una estrella muy grande comienza a destruirse a sí misma en una explosión gigantesca llamada supernova, y donde se forman los elementos más pesados que el hierro.

¿Qué pasaría si Eta Carinae explotara mañana como una supernova? Sería la madre de todas las explosiones. Pero no te preocupes: no te enterarías de ello hasta dentro de 8000 años, que es el tiempo que tardaría la luz en recorrer la inmensa distancia entre Eta Carinae y nosotros (y nada viaja más deprisa que la luz). ¿Qué pasaría entonces si Eta Carinae hubiera explotado hace 8000 años? Bueno, en ese caso la luz y otras radiaciones de la explosión sí podrían alcanzarnos en la actualidad. En el momento en que lo viéramos sabríamos que Eta Carinae había explotado hace 8000 años. Solo se han observado unas 20 supernovas desde que existen registros al respecto. El gran científico alemán Johannes Kepler vio

una el 9 de octubre de 1604. En la figura inferior de esta página se muestran los restos de la explosión tal como los vemos a día de hoy: los detritos se han expandido desde que Kepler los vio por primera vez. La explosión ocurrió hace unos 20 000 años, más o menos la época en la que se extinguieron los neandertales.

Las supernovas, a diferencia de las estrellas normales, pueden crear elementos incluso más duros que el hierro: por ejemplo, plomo y uranio. La titánica explosión de una supernova esparce todos los elementos que la estrella, y después la supernova, han creado, incluyendo los elementos necesarios para la vida, lejos y muy separados en el espacio. A veces, las nubes de polvo ricas en elementos pesados comienzan el ciclo de nuevo, condensándose para crear nuevas estrellas y planetas. De ahí procede la materia de nuestro planeta, y ese es el motivo por el que contiene los elementos necesarios para construirnos a nosotros. El carbono, el nitrógeno, el oxígeno, etc., proceden del polvo restante después de que una supernova iluminara el cosmos, y la frase poética «somos polvo de estrellas» es literalmente cierta. Sin ocasionales explosiones de supernovas, los elementos necesarios para la vida no existirían.



§. Gira que te gira

No podemos ignorar el hecho de que la Tierra y el resto de planetas solares orbitan su estrella en el mismo «plano». ¿Qué significa eso? Teóricamente, podías pensar que la órbita de un planeta puede inclinarse con el ángulo que quiera. Pero no es así como funciona. Es como si existiera un disco plano invisible en el cielo, con el sol en el centro y todos los planetas moviéndose sobre ese disco, aunque a distintas distancias del centro. Aún más, todos los planetas giran alrededor del sol en la misma dirección.

¿Por qué? Probablemente debido al modo en el que se crearon. Veamos primero la dirección de rotación. Todo el sistema solar, el sol y sus planetas, comenzó como una pequeña nube de gas y polvo que rotaba, probablemente restos de la explosión de una supernova.

Como prácticamente todos los objetos que flotan libremente en el universo, la nube rotaba sobre su propio eje. Y sí, lo has adivinado: la dirección de su rotación era la misma que la dirección en la que los planetas orbitan ahora el sol.

Entonces, ¿por qué están todos los planetas «al mismo nivel»; en el nivel de ese «disco»? Por razones gravitatorias complicadas en las que no vamos a entrar, pero que los científicos entienden a la perfección, una gran nube de gas rotando en el espacio tiende a formar un disco de revolución con una enorme masa en el centro. Y eso es lo que parece que ocurrió con nuestro sistema solar. El polvo, el gas y los pequeños trozos de materia no son para siempre polvo y gas. La atracción gravitatoria los atrae hacia sus vecinos tal como describí antes en este mismo capítulo. Unen fuerzas con esos vecinos y forman pedazos mayores de materia. Cuanto mayor es un pedazo, mayor es su poder de atracción gravitatoria. Por tanto, lo que ocurrió en nuestro disco giratorio fue que los trozos más grandes se hicieron aún más grandes y se unieron con sus vecinos más pequeños.

El trozo más grande se convirtió en el sol. Otros trozos, suficientemente grandes como para atraer a trozos más pequeños y suficientemente lejos del sol para no ser atraídos por él, se convirtieron en los planetas. En orden del más cercano al sol al más alejado, ahora se llaman Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. En la lista antigua también estaba Plutón, después de Neptuno, pero actualmente ha sido considerado demasiado pequeño para ser un planeta.

§. Asteroides y estrellas fugaces

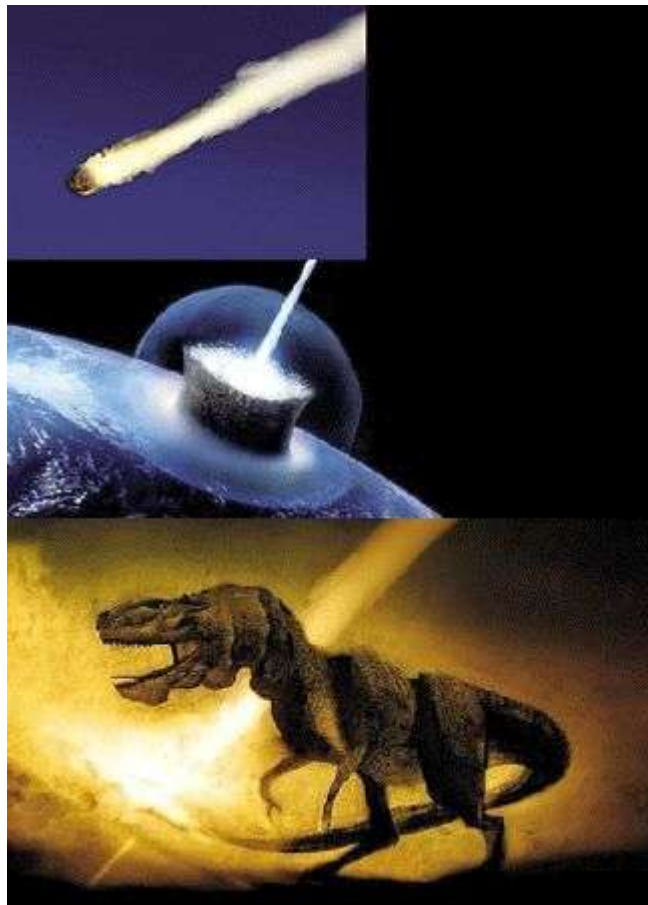
En otras circunstancias podría haberse formado también otro planeta entre las órbitas de Marte y Júpiter. Pero los pequeños trozos que podrían haberse unido para formar este planeta extra no pudieron hacerlo, probablemente por la influencia gravitatoria de Júpiter, y quedaron orbitando como un anillo de detritos llamado cinturón de asteroides. Estos asteroides forman un anillo entre las órbitas de Marte y Júpiter, que es donde podría haberse creado el nuevo planeta si hubieran logrado unir. Los famosos anillos que rodean al planeta Saturno son prácticamente lo mismo. Podrían haberse condensado para crear otra luna (Saturno ya tiene 62 lunas, así que esta habría sido la número 63), pero en realidad se quedaron separados como un anillo de rocas y polvo. En el cinturón de asteroides —el equivalente del sol a los anillos de Saturno— algunos de los trozos de detritos son suficientemente grandes como para ser llamados planetesimales (algo así como «casi planetas»). El mayor de ellos, llamado Ceres, tiene unos 1000 kilómetros de diámetro, suficiente tamaño para ser esférico como un planeta, pero la mayoría de ellos son rocas informes y trozos de polvo. De vez en cuando colisionan entre ellos como bolas de billar, y a veces alguno es golpeado fuera del anillo de asteroides y puede acercarse a otro planeta como la Tierra.



Los vemos con cierta frecuencia, ardiendo en la atmósfera superior como estrellas fugaces o «meteoritos».

Menos frecuente es que un meteorito sea tan grande como para sobrevivir a la entrada en la atmósfera y choque contra el suelo. El 9 de octubre de 1992, un meteorito chocó contra la atmósfera y un fragmento del tamaño de un ladrillo impactó en un coche en Peekskill, en el estado de Nueva York. Un meteorito mucho más grande, del tamaño de una casa, explotó sobre Siberia el 30 de junio de 1908, provocando un incendio que arrasó grandes zonas forestales.

Los científicos tienen ahora pruebas de que un meteorito aún mayor golpeó Yucatán, en lo que ahora es Centroamérica, hace 65 millones de años, causando un desastre global que es probablemente el que acabó con los dinosaurios. Se ha calculado que la energía liberada por esa colisión catastrófica fue miles de veces mayor que la que liberarían todas las armas nucleares del mundo explotadas a la vez. Debió de haber terremotos impresionantes, tsunamis épicos e incendios en todos los bosques del mundo, y una densa nube de polvo y humo habría oscurecido la superficie de la Tierra durante años.



Esto habría matado de hambre a las plantas, que necesitan la luz del sol, y habría matado de hambre a los animales, que necesitan a las plantas. La pregunta no es si los dinosaurios murieron, sino si sobrevivieron nuestros antepasados mamíferos. Quizá una pequeña población sobrevivió hibernando bajo tierra.

§. La luz de nuestras vidas

Quiero cerrar este capítulo hablando sobre la importancia del sol para la vida. No sabemos si existe vida en otras partes del universo (ya hablaremos de eso en otro capítulo), pero lo que sí sabemos es que si hay vida fuera de aquí, casi seguro será cerca de una estrella. También podemos afirmar que si es similar a nuestro tipo de vida, será probablemente en un planeta que esté a la misma distancia aparente de su estrella que la que nos separa a nosotros del sol. Con «distancia aparente» quiero decir distancia tal como la percibe la propia vida. La distancia absoluta podría ser mucho mayor, tal como hemos visto en el ejemplo de la estrella super gigante R136a1. Pero si la distancia aparente fuera la misma, su sol se vería del mismo tamaño que el nuestro, lo que significa que la cantidad de calor y luz recibidos serían aproximadamente los mismos.

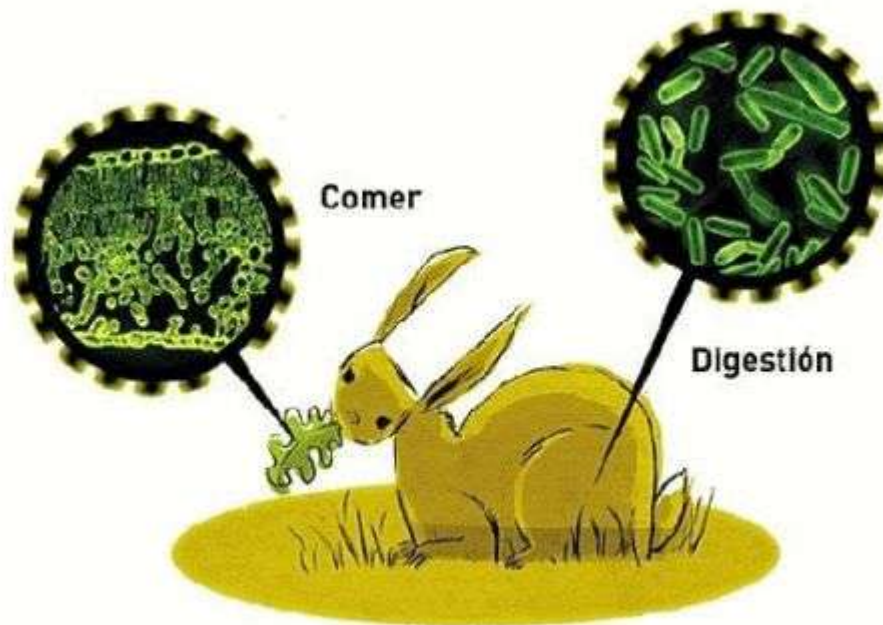


¿Por qué tiene la vida que estar cerca de una estrella? Porque toda vida necesita energía, y la fuente obvia de energía es la luz de una estrella. En la Tierra, las plantas atrapan la luz del sol y la convierten en energía disponible para el resto de criaturas vivientes. Se podría decir que las plantas se alimentan de la luz solar. También necesitan otras cosas, como dióxido de carbono del aire, y agua y minerales del suelo. Pero su energía la obtienen de la luz del sol, y la utilizan para fabricar azúcares, que son un tipo de combustible que hace funcionar cualquier cosa que necesiten hacer. No se puede hacer azúcar sin energía. Y una vez que tenemos el azúcar, podemos «quemarla» para recuperar la energía, aunque nunca recuperaremos toda la energía; parte de ella se pierde en el proceso. Y cuando decimos «quemar» no significa que se haga humo. Quemar literalmente es solo una de las formas de liberar energía de

un combustible. Hay formas más controladas de dejar que la energía fluya, de forma lenta y útil.

Una hoja verde es como una fábrica lenta y dispersa cuyo techo es un gran panel solar, que atrapa la luz del sol y la utiliza para mover las cadenas de montaje que hay bajo el techo. Ese es el motivo por el que las hojas son delgadas y planas: para darles una gran superficie en la que caiga la luz del sol. El producto final de la fábrica es distintos tipos de azúcares. Después se distribuyen por las venas de las hojas al resto de la planta, donde se utilizan para crear otras cosas, como el almidón, que es una forma más conveniente de almacenar energía que el azúcar. A veces, la energía es liberada por el almidón o el azúcar para construir el resto de las partes de la planta.

Cuando las plantas son comidas por herbívoros (herbívoro significa precisamente eso: «comedor de plantas») como los antílopes o los conejos, la energía pasa a esos herbívoros, y de nuevo, parte de ella se pierde en el proceso. Los herbívoros la utilizan para construir sus cuerpos y para mover sus músculos cuando hacen sus cosas. «Sus cosas» incluyen, por supuesto, pastar y buscar más plantas para comer. La energía que alimenta los músculos de los herbívoros cuando caminan, y comen, y luchan, y se reproducen, proviene al final del sol, a través de las plantas.

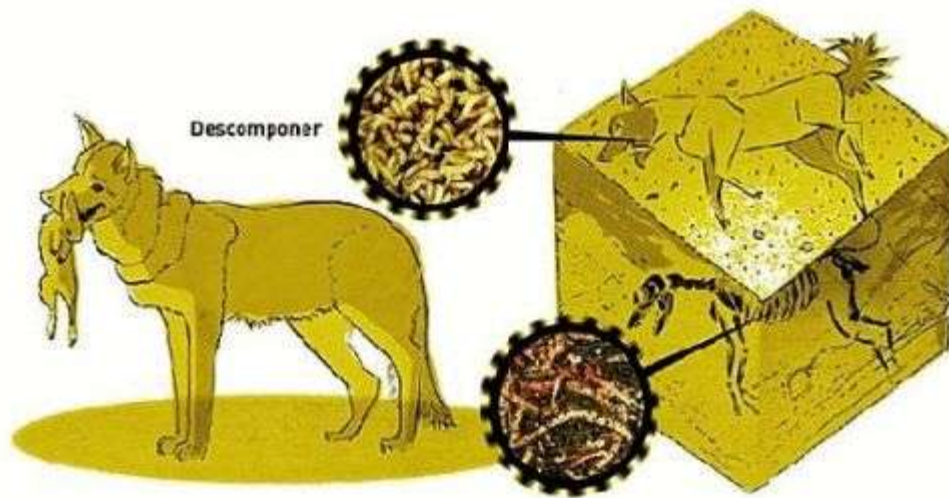


Después otros animales, los carnívoros, se comen a los herbívoros. La energía vuelve a pasar —y de nuevo, parte de ella se pierde en el camino— y alimenta los músculos de los carnívoros para que también hagan sus cosas. En este caso, sus cosas incluyen cazar más herbívoros para comer, así como el resto de cosas que hacen, como reproducirse, pelear, subir a los árboles, y en el caso de los mamíferos, fabricar leche para sus crías. Y sigue siendo el sol el que proporciona la energía, aunque ahora llegue por una ruta indirecta. Y en cada paso de esta ruta indirecta, una buena parte de la energía se pierde, en forma de calor, lo que contribuye a la inútil tarea de calentar el resto del universo.

Otros animales, los parásitos, se alimentan de los cuerpos vivos tanto de los herbívoros como de los carnívoros. Una vez más, la energía que alimenta a los parásitos procede del sol, y una vez más

no toda ella es utilizada, porque parte se desperdicia en forma de calor.

Por último, cuando algo muere, ya sea una planta, un herbívoro, un carnívoro o un parásito, puede ser comido por carroñeros como los escarabajos sepultureros, o puede descomponerse y ser comido por bacterias y hongos, que son otro tipo de carroñeros. De nuevo, la energía del sol es la que manda, y de nuevo parte de ella se disipa en forma de calor. Ese es el motivo por el que los montones de compost (abono) están calientes. Todo el calor procedente del compost viene del sol, atrapado por los paneles solares de las hojas el año pasado. Hay unos pájaros australianos fascinantes, llamados megapodos, que utilizan el calor del compost para incubar sus huevos. A diferencia de otros pájaros, que se sientan sobre sus huevos y los mantienen templados con su calor corporal, los megapodos construyen un gran montón de compost en el que depositan sus huevos. Regulan la temperatura del compost, apilando más compost en la parte superior para hacerlo más caliente o quitando compost para hacerlo más frío. Pero todos los pájaros, en última instancia, utilizan la energía solar para incubar sus huevos, tanto si es a través de su cuerpo como si es con un montón de compost.



A veces las plantas no son comidas, sino enterradas en turberas. Durante siglos se fueron comprimiendo en capas de turba aplastadas por nuevas capas. Los habitantes del oeste de Irlanda o de las islas escocesas arrancan esa turba y la cortan en trozos como ladrillos, que después queman a modo de combustible para mantener sus casas calientes en invierno. Una vez más, es el sol, en este caso atrapado siglos antes, el que proporciona la energía para las chimeneas y las cocinas de Galway y de las islas Hébridas.

En las condiciones adecuadas, y durante millones de años, la turba puede compactarse y transformarse en carbón. A igual peso, el carbón es más eficiente que la turba y arde a una temperatura mucho mayor, y fueron los fuegos y los hornos de carbón los que alimentaron la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX.

El intenso calor de las acerías o de los altos hornos, las incandescentes calderas de combustión que condujeron las locomotoras victorianas y los barcos de vapor: todo ese calor

procedía originalmente del sol, a través de las hojas verdes de las plantas que vivieron hace 300 millones de años.

Algunas de las «oscuras y satánicas fábricas» de la revolución industrial funcionaban con calderas de vapor, pero muchas de las antiguas fábricas de algodón estaban alimentadas por molinos de agua. La fábrica se construía cerca de un río de aguas bravas, que eran conducidas para fluir a través de una rueda. Esa rueda hacía girar un eje o árbol motor, que recorría toda la fábrica. A lo largo de ese árbol motor, cintas y ruedas dentadas movían las máquinas de hilar, las máquinas de cardar y los telares. Incluso aquellas máquinas estaban alimentadas por el sol. Así es como funcionaban.



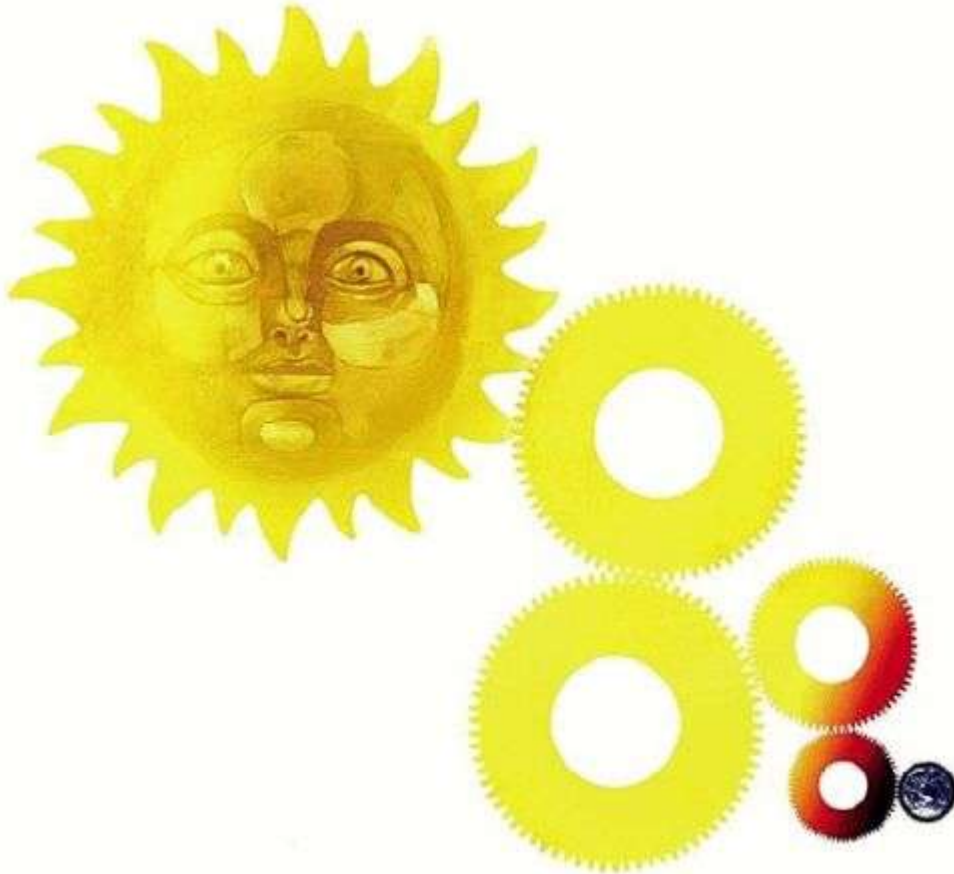
Las ruedas del molino eran movidas por el agua, que bajaba por el río debido a la gravedad. Pero eso solo funciona porque existe un suministro continuo de agua en la parte alta de las montañas de las que desciende. Esa agua se suministra en forma de lluvia,

procedente de las nubes, que cae en colinas y montañas. Y las nubes obtienen su agua a través de la evaporación de los mares, los lagos y los ríos de la Tierra. La evaporación requiere energía, y dicha energía procede del sol. Por tanto, toda la energía que movía los molinos de agua que hacían girar las máquinas de hilar, cardar y los telares, procedía en última instancia del sol.

Más tarde, las fábricas de algodón funcionaron con calderas de vapor alimentadas con carbón, y de nuevo utilizaron energía procedente del sol. Pero antes de pasar definitivamente al carbón, las fábricas tuvieron un paso intermedio. Mantuvieron la gran rueda de agua para mover los ejes y los telares, pero utilizaron un motor de vapor para subir agua a un tanque desde el que fluía de nuevo sobre la rueda de agua, y otra vez para arriba. Así, tanto si el agua caía de las nubes por efecto del sol como si era subida al depósito por un motor alimentado con carbón, la energía seguía procediendo del sol. La diferencia es que la energía del vapor procede de la luz del sol acumulada en las plantas durante millones de años y enterrada después en forma de carbón, mientras que la del molino utiliza la luz solar procedente solo de unas cuantas semanas antes y almacenada en forma de agua en las cimas de las montañas. Este tipo de «luz solar almacenada» se denomina energía potencial, porque el agua tiene el potencial —el poder almacenado— de hacer un trabajo cuando fluye río abajo.

Esto nos proporciona una curiosa forma de entender cómo la vida es alimentada por el sol. Cuando las plantas utilizan la luz del sol

para fabricar azúcar, es como empujar agua colina arriba, o a un depósito en el techo de la fábrica.



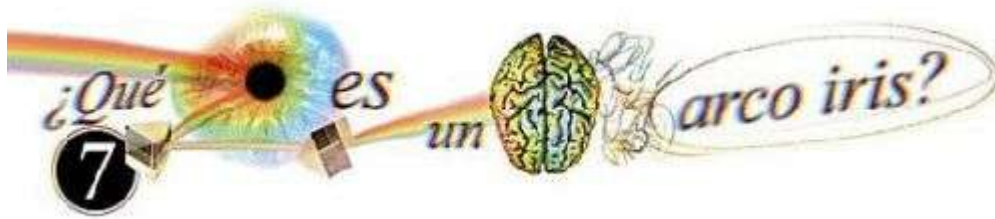
Cuando las plantas (o los herbívoros que comen esas plantas, o los carnívoros que se comen a los herbívoros) utilizan el azúcar (o el almidón que está hecho de azúcar, o la carne que está hecha de almidón), podemos pensar en que el azúcar se ha quemado en una combustión lenta: por ejemplo, para que funcionen los músculos, igual que el carbón se quema en una combustión rápida para conseguir que el vapor mueva una máquina en una fábrica.

No nos habría beneficiado en absoluto quemar literalmente el azúcar y otros alimentos combustibles en una hoguera. El fuego es una forma inútil y destructiva de recuperar la energía del sol almacenada. Lo que ocurre en nuestras células es tan lento y cuidadosamente regulado que viene a ser como el agua que baja por una colina y mueve una serie de ruedas de molino. La reacción química alimentada por el sol que se produce en las hojas verdes para fabricar azúcar es el equivalente a bombear agua colina arriba. Las reacciones químicas en las células de animales y plantas que utilizan energía —por ejemplo, para mover los músculos— obtienen la energía en etapas cuidadosamente controladas, paso a paso. Los combustibles de alta energía, sean azúcares o cualquier otro, están pensados para que liberen su energía poco a poco, a través de una cascada de reacciones químicas, cada una alimentando a la siguiente, como un flujo de pequeñas cataratas que van moviendo pequeños molinos, uno por uno.

Sean cuales sean los detalles, todos los molinos, y ejes y árboles motor de la vida son movidos en última instancia por el sol. Quizá las tribus antiguas habrían adorado más aún al sol si hubieran sabido hasta qué punto la vida depende de él. Lo que ahora me pregunto es cómo moverán muchas otras estrellas los motores de la vida de los planetas que las orbitan. Pero eso deberá esperar a otro capítulo.

Capítulo 7

¿Qué es un arcoíris?

*Contenido:*

§. De qué está hecha la luz

§. Cómo fabrican las gotas de lluvia un arco iris

§. ¿En la longitud de onda adecuada?

La épica de Gilgamesh es una de las historias más antiguas jamás escritas. Más antigua que las leyendas de los griegos o los judíos, es el antiguo mito heroico de la civilización sumeria, que floreció en Mesopotamia (ahora Iraq) hace entre 5000 y 6000 años. Gilgamesh era el gran rey héroe del mito sumerio, algo así como el rey Arturo en las leyendas británicas, que nadie sabe si realmente existió, pero hay muchas historias que hablan de él. Al igual que el héroe griego Ulises y el héroe árabe Simbad el marino, Gilgamesh se embarcó en viajes épicos y conoció muchas cosas y gentes extrañas en sus viajes. Uno de ellos fue un anciano (muy muy anciano, de siglos de edad) llamado Utnapashtim, quien le contó a Gilgamesh una extraña historia sobre sí mismo. Bueno, a él le pareció extraña, pero puede que a ti no te lo parezca porque probablemente hayas oído una historia similar... sobre otro anciano con nombre diferente.

Utnapashtim le contó a Gilgamesh que en una ocasión, muchos siglos atrás, los dioses andaban enfadados con la humanidad porque hacíamos demasiado ruido y no les dejábamos dormir.

El jefe de los dioses, Enlil, sugirió que debían enviar una gran inundación para destruir a toda la gente, de forma que los dioses pudieran descansar por la noche. Pero el dios del agua, Ea, decidió avisar a Utnapashtim. Ea le dijo a Utnapashtim que derribara su casa y construyera un barco.

Debió de ser un barco muy grande, porque Utnapashtim tuvo que meter dentro «la semilla de todas las criaturas vivientes».

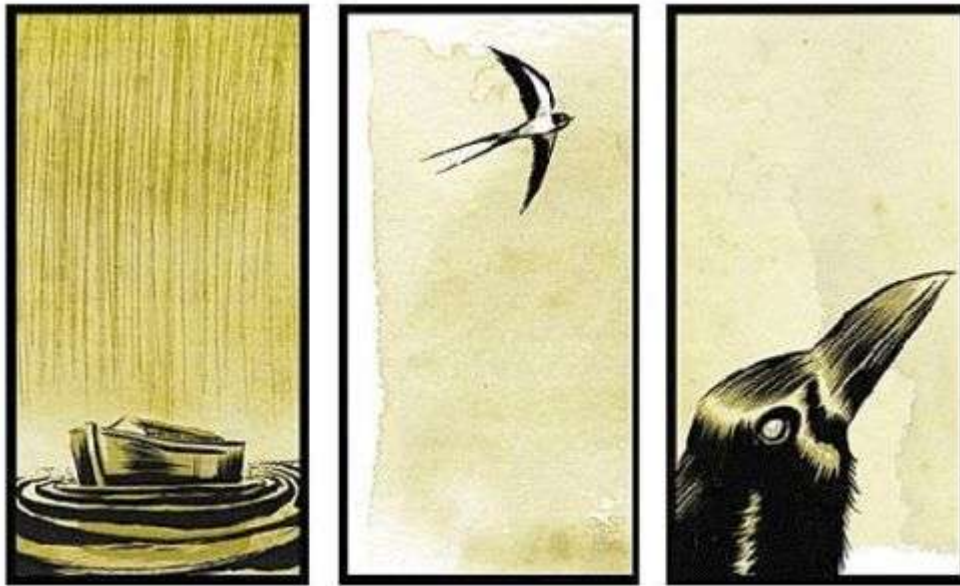
Utnapashtim construyó el barco justo a tiempo, antes de que lloviera durante seis días y seis noches sin parar. La inundación arrasó a todas las personas y a todas las cosas que no estaban seguras dentro del barco. El séptimo día el viento paró y las aguas quedaron en calma.

Utnapashtim abrió una escotilla del barco y liberó a una paloma. La paloma voló lejos en busca de tierra firme, pero no la encontró y regresó al barco. Después Utnapashtim liberó a una golondrina, pero ocurrió lo mismo.





Por último, Utnapishtim liberó a un cuervo. El cuervo no regresó, lo que le hizo pensar que había tierra seca en alguna parte y que el cuervo la había encontrado.



Finalmente, el barco se posó en la cima de una montaña que sobresalía del agua. Otro dios, Ishstar, creó el primer arco iris, como señal de promesa de los dioses de no enviar más terribles inundaciones. Así es como apareció el primer arco iris, según la antigua leyenda de los sumerios.

Bueno, he dicho que la historia podría parecerle familiar. Todos los niños educados en países cristianos, judíos e islámicos reconocerán inmediatamente que es la misma historia que la más reciente del arca de Noé, con un par de pequeñas diferencias. El nombre del constructor del barco cambia de Utnapashtim a Noé. Los numerosos dioses de la leyenda antigua se convierten en un único dios en la historia judía. La «semilla de todas las criaturas vivientes» se expresa como «todo ser viviente de toda carne, de dos en dos», y la Épica de Gilgamesh seguramente significa algo similar. De hecho, es obvio que la historia judía de Noé no es más que una versión

modificada de la antigua leyenda de Utnapashtim. Fue un cuento popular que pasó de boca en boca y viajó durante siglos. A menudo descubrimos que leyendas antiguas similares se han convertido en otras leyendas, normalmente con los algunos nombres o algunos detalles cambiados. Y esta, en ambas versiones, termina con el arco iris.

Tanto en la Épica de Gilgamesh como en el libro del Génesis, el arco iris es una parte importante del mito. El Génesis especifica que fue Dios quien colocó el arco iris en el cielo, como muestra de su promesa a Noé y a sus descendientes.



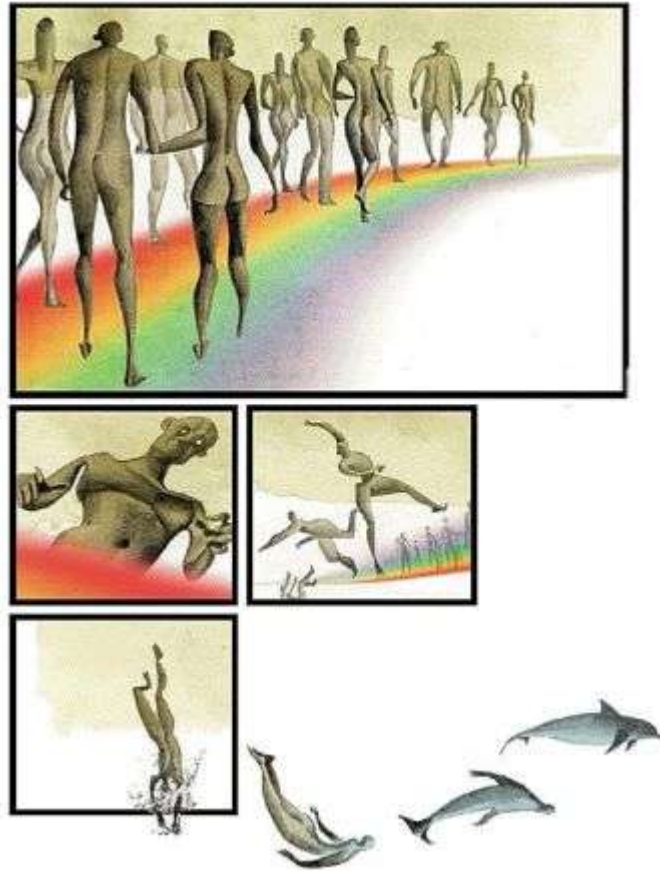
Existe otra diferencia entre la historia de Noé y el cuento más antiguo de los sumerios. En la versión de Noé, el motivo del descontento de Dios con los humanos fue porque eran incorregiblemente malvados. En la historia sumeria, el crimen de la humanidad parece ser menos serio. Simplemente hacíamos tanto ruido que ¡los dioses no podían dormir! A mí me resulta gracioso. Y el tema de los humanos ruidosos manteniendo despiertos a los dioses surgió, de forma independiente, en la leyenda de la tribu Chumash de la isla de Santa Cruz, cerca de la costa de California.

Los Chumash creían que habían sido creados en su isla (obviamente entonces no se llamaba Santa Cruz, porque ese es su nombre español) a partir de las semillas de una planta mágica, por la diosa de la Tierra, Hutash, casada con la serpiente del cielo (lo que ahora conocemos como la Vía Láctea, que podrás ver si te encuentras en mitad del campo en una noche muy oscura, pero no si vives en una ciudad, en la que hay demasiada contaminación lumínica). La gente de la isla empezó a ser muy numerosa, y tal como ocurrió en la Épica de Gilgamesh, demasiado ruidosa para el gusto de la diosa Hutash. El barullo la mantenía despierta por las noches. Pero en lugar de matarlos a todos, como los dioses judíos y sumerios, Hutash tuvo más clase. Decidió que algunos de ellos deberían trasladarse de Santa Cruz a tierra firme, donde no podría escucharlos. Así que hizo un puente para que cruzaran. Y el puente fue... sí, ¡el arco iris!

El mito tiene un final extraño.

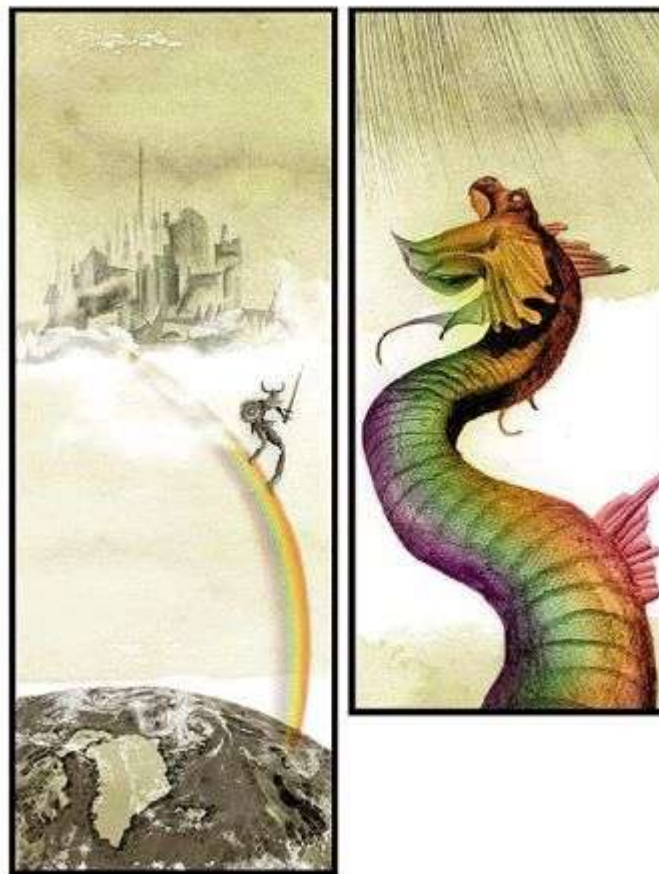
Mientras la gente cruzaba el puente del arco iris, algunos de los más ruidosos miraron hacia abajo, y les asustó tanto la caída que les entró vértigo.

Cayeron al mar, donde se convirtieron en delfines.



La idea del arco iris como un puente aparece también en otras mitologías. En los mitos de los antiguos nórdicos (los vikingos), los arcos iris se veían como frágiles puentes utilizados por los dioses para viajar del mundo celestial a la Tierra.

Muchos pueblos, por ejemplo, en Persia, África occidental, Malasia, Australia y América, han visto el arco iris como una enorme serpiente que se eleva desde el suelo para beber el agua de la lluvia.



Y yo me pregunto, ¿cómo comienzan todas estas historias? ¿Quién las inventa y por qué alguien, de pronto, decide creer que esas cosas ocurrieron realmente? Estas cuestiones son fascinantes y nada fáciles de responder. Pero sí hay una pregunta a la que podemos responder: ¿qué es realmente un arco iris?



Cuando yo tenía unos 10 años me llevaron a Londres a ver una obra infantil llamada *Donde termina el arco iris*. Tú probablemente no la habrás visto porque es exageradamente patriótica para que la representen en los teatros modernos. Trata de lo excepcionalmente especial que es ser inglés, y en el momento álgido de la aventura los niños son rescatados por San Jorge, el santo patrón de Inglaterra (aunque no de Gran Bretaña: Escocia, Gales e Irlanda tienen sus propios santos patronos). Pero lo que recuerdo con mayor claridad no es a san Jorge, sino al propio arco iris. Los niños iban hasta el lugar en el que el arco iris había plantado su pie, y los veíamos caminar por el arco iris en el punto en el que toca el suelo. Estaba

muy bien ideado, con focos de colores que caían entre la niebla, y los niños parecían caminar sobre las nubes. Creo que fue en ese momento cuando apareció en escena san Jorge y todos los niños del escenario gritaron a la vez:

¡San Jorge! ¡San Jorge! ¡San Jorge!

Pero fue el arco iris el que hizo volar mi imaginación. No me importaba san Jorge: ¡qué maravilloso sería colocarse junto al pie de un arco iris gigante!

Es fácil ver de dónde sacó la idea del autor de la obra. Un arco iris parece en realidad un objeto colgado delante de nosotros, quizá a unos pocos kilómetros de distancia. Es como si tuviera su pie izquierdo plantado, por ejemplo, en un campo de trigo, y su pie derecho (si tienes la suerte de ver el arco iris completo) en la cima de una colina. Sientes que serías capaz de acercarte a él y colocarte justo donde el arco iris toca la tierra, como los niños de aquella obra. Todos los mitos que te he descrito mantienen la misma idea. El arco iris se ve como algo definido, en un lugar definido y a una distancia definida.

Bueno, probablemente habrás descubierto que ¡en realidad no es así! En primer lugar, si intentas acercarte al arco iris, no importa lo deprisa que corras, nunca llegarás allí: el arco iris se alejará de ti hasta desaparecer por completo. No podrás capturarlo. Pero en realidad no es que se aleje, porque no está en ningún lugar concreto.



Se trata de una ilusión, aunque una ilusión fascinante, y cuando la entiendas podrás descubrir multitud de cosas interesantes, algunas de las cuales trataremos en el siguiente capítulo.

§. De qué está hecha la luz

Antes de nada debemos entender qué es un espectro. Lo descubrió, en tiempos del rey Carlos II —hace unos 350 años— Isaac Newton, que puede considerarse el mayor científico de todos los tiempos (descubrió muchas otras cosas además del espectro, tal como vimos en el capítulo sobre la noche y el día) Newton descubrió que la luz

blanca es en realidad una mezcla de todos los demás colores. Para un científico eso es lo que *significa* blanco.

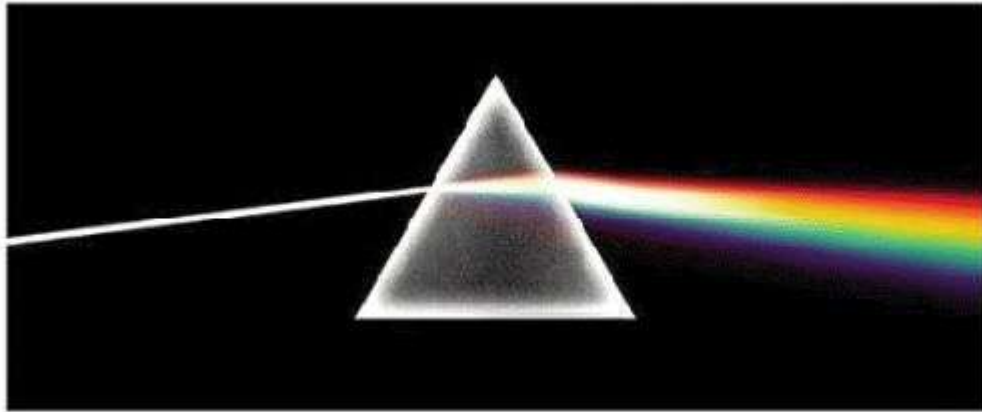


¿Cómo llegó Newton a ese descubrimiento? Realizando un experimento. Primero dejó a oscuras su habitación para que no pudiera entrar nada de luz, y después abrió un pequeño hueco en la cortina para permitir que entrara un rayo de luz blanca del grosor de un lapicero. Después hizo que ese rayo pasara a través de un prisma, que es una especie de trozo triangular de cristal.

Lo que hace el prisma es abrir el estrecho rayo blanco; pero el rayo resultante ya no es blanco. Es multicolor, como un arco iris, y

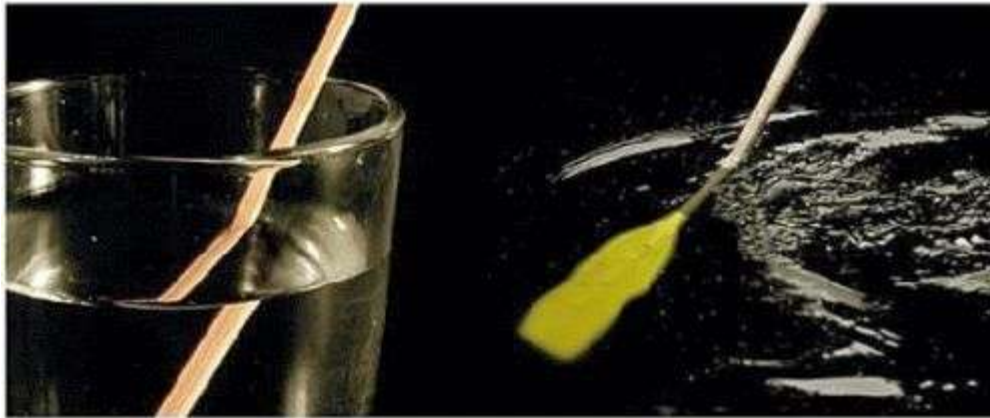
Newton le dio nombre a ese arco iris que había fabricado: el espectro.

Así es como funciona.



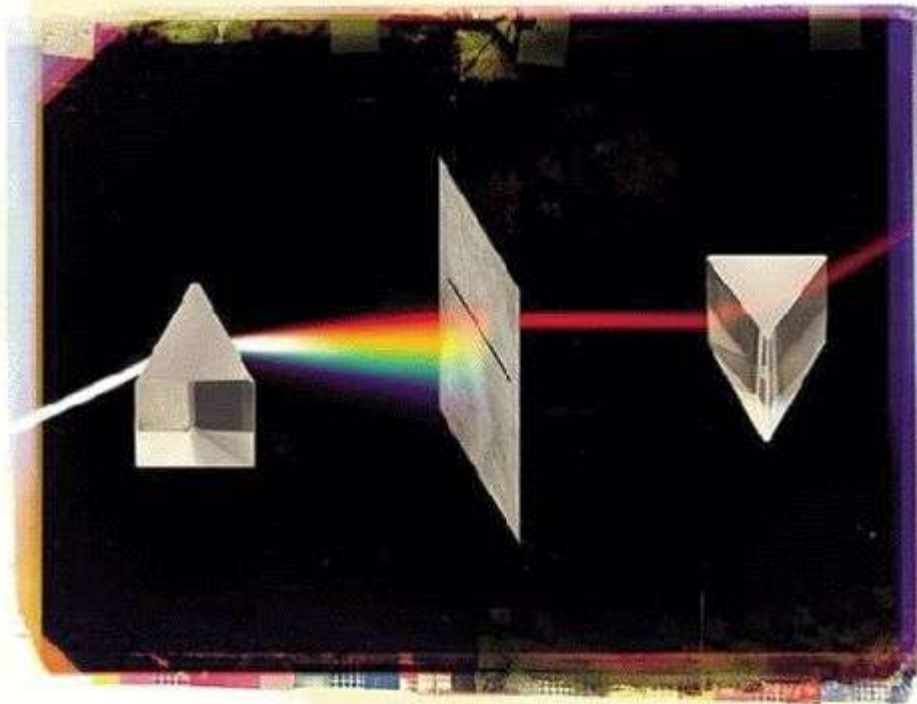
Cuando un rayo de luz viaja a través del aire y choca con el cristal, se desvía. Esta desviación se denomina refracción. La refracción no tiene por qué estar causada por un cristal: el agua también realiza ese mismo truco, y será importante cuando regresemos al asunto del arco iris. Es la refracción la que hace que una rama parezca curvada cuando la introducimos en un río. Del mismo modo, la luz se desvía cuando choca con un vaso de agua. Pero ahora viene lo importante. El *ángulo* de desviación es ligeramente diferente dependiendo del color de la luz. La luz roja se desvía con un ángulo algo menor que la luz azul. Por tanto, si la luz blanca es en realidad una mezcla de luces de colores, tal como suponía Newton, ¿qué ocurre cuando haces pasar una luz blanca a través de un prisma? La luz azul se desvía más lejos que la luz roja, por lo que ambas se separan entre sí cuando emergen por el otro lado del prisma. Y las

luces amarilla y verde quedan por medio. El resultado es el espectro de Newton: todos los colores del arco iris, organizados en el orden correcto del arco iris: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta.



Newton no fue la primera persona que creó un arco iris con un prisma. Otros ya habían obtenido el mismo resultado. Pero muchos de ellos pensaron que el prisma «coloreaba» de alguna forma la luz blanca, como si le añadiera un tinte. La idea de Newton fue algo diferente. Él pensó que la luz blanca era una mezcla de todos los colores, y el prisma simplemente los separaba. Estaba en lo cierto, y lo demostró con un par de sencillos experimentos. Primero cogió su prisma, igual que antes, y le colocó una lámina con una ranura muy fina en el camino de salida de los rayos, de manera que únicamente uno de ellos, por ejemplo el rojo, pasará a través de la ranura. Después colocó otro prisma en el camino de ese estrecho rayo de luz roja. El segundo prisma desvió la luz, como siempre, pero lo que salió por el otro extremo solo fue luz roja. No se le añadieron más colores, como habría ocurrido si fuera el prisma el que coloreara

esos rayos. El resultado que obtuvo Newton fue exactamente el que esperaba, lo que confirmó su teoría de que la luz blanca es una mezcla de luces de todos los colores.



El segundo experimento fue aún más ingenioso, utilizando tres prismas. Se denominó Experimentum Crucis de Newton, que en latín significa «experimento crucial»; o podríamos llamarlo también «experimento que realmente resuelve el argumento».



En la imagen de la izquierda puedes ver una luz blanca atravesando el hueco de la cortina de Newton y pasando a través del primer prisma, que la separa en todos los colores del arco iris. Los colores del arco iris dispersos pasan después a través de una lente que los vuelve a unir, antes de que pasen por el segundo prisma de Newton. Este segundo prisma hace el efecto de mezclar de nuevo los colores del arco iris en una luz blanca. Esto terminó de confirmar la idea de Newton. Pero para asegurarse del todo, después pasó ese rayo de luz blanca por un tercer prisma, que volvió a separarlo en los colores del arco iris. Es la explicación más sencilla que podríamos esperar, y que prueba que la luz blanca es, de hecho, una mezcla de todos los colores.

§. Cómo fabrican las gotas de lluvia un arco iris

Los prismas están muy bien, pero cuando vemos un arco iris en el cielo, no hay un gran prisma colgado allí arriba. No, pero hay millones de gotas de lluvia. Entonces, ¿funciona cada gota de lluvia como un diminuto prisma? Es algo parecido, pero no exactamente así.



Si quieres ver un arco iris tienes que dejar al sol *a tu espalda* cuando mires hacia la lluvia. Cada gota de lluvia es más una pequeña bola que un prisma, y la luz se comporta de manera diferente cuando atraviesa una bola que cuando atraviesa un prisma. La diferencia es que la parte más alejada de la gota de lluvia actúa como un diminuto espejo. Y por eso necesitas tener el sol

detrás de ti si quieres ver un arco iris. La luz del sol da una voltereta dentro de cada gota de lluvia, y es reflejada hacia atrás y hacia abajo, donde choca contra tus ojos.

Así es como funciona Tú estás de pie con el sol *a tu espalda* mirando a una cortina de lluvia a lo lejos. La luz del sol golpea a una gota de lluvia (obviamente golpea a todas las gotas de lluvia, pero ten paciencia, ahora llegamos a eso) Llamemos a nuestra gota particular de lluvia A. El rayo de luz blanca golpea a A en su superficie superior, donde se desvía como si fuera la superficie plana del prisma de Newton. Y por supuesto la luz roja se desvía menos que la azul, con lo que el espectro ya se ordena adecuadamente. Ahora todos los rayos de colores viajan a través de la gota de lluvia hasta que golpean su borde de más alejado. En lugar de atravesarla y salir al aire, son reflejados hacia atrás, a la parte más cercana de la gota de lluvia, esta vez la parte más baja del borde más cercano. Y mientras pasan por la parte más cercana de la gota de lluvia, se desvían de nuevo. Y de nuevo es la luz roja la que se desvía menos que la azul.

Por tanto, cuando el rayo de sol abandona la gota de lluvia, ya se ha separado en su espectro adecuado. Los rayos de colores separados han atravesado dos veces el interior de la gota de lluvia y ahora regresan en la dirección en la que estás tú. Si tu ojo se encuentra en el camino de uno de esos rayos, por ejemplo, del verde, verás una luz verde pura. Alguien más bajo que tú podría ver la luz roja procedente de A, y alguien más alto vería la luz azul de A.

Nadie puede ver el espectro completo de una única gota de lluvia. Lo que veis cada uno es solo un color puro. Sin embargo, todos decís que estáis viendo un arco iris con todos los colores. ¿Cómo es posible? Bueno, de momento solo hemos hablado de una gota de lluvia llamada *A*, pero hay millones de gotas más, y se comportan de la misma manera. Mientras tú ves el rayo rojo de *A*, hay otra gota llamada *B*, un poco más abajo que *A*. Tú no puedes ver el rayo rojo de *B* porque está cayendo en tu estómago. Pero el rayo azul de *B* está exactamente en el lugar adecuado para que impacte en tu ojo. Y hay otras gotas más abajo que *A*, pero más arriba que *B*, cuyos rayos rojo y azul no dan en tu ojo, pero cuyos rayos amarillo o verde sí lo hacen. De esta forma, muchas gotas juntas logran completar el espectro, en una línea de arriba a abajo.



Pero una línea de arriba abajo no es un arco iris. ¿De dónde procede el resto del arco iris? No olvides que hay otras gotas desplazándose de un lado de la tormenta al otro, y de arriba abajo. Y por supuesto rellenan el resto del arco iris para ti, por cierto. Cada arco iris que ves, trata de completar un círculo entero, con tu ojo en su centro, como el arco iris completamente circular que a veces puedes ver cuando riegas el jardín con una manguera y el sol brilla a través de la cortina de agua. El único motivo por el que no solemos ver el círculo completo es que la Tierra se mete por medio.

Ese es, por tanto, el motivo por el que ves un arco iris en cada fracción de segundo. Pero en la siguiente fracción de segundo, todas las gotas han caído un poco más. Ahora *A* está donde estaba *B*, de manera que ahora ves el rayo azul de *A*, en lugar de su rayo verde. Y no puedes ver ninguno de los rayos de *B* (aunque el perro sentado a tus pies sí puede). Y una nueva gota de lluvia (*C*, cuyos rayos no podías ver antes) ha caído ahora hasta la posición en la que estaba *A*, y es su rayo rojo el que ves.

Por eso el arco iris parece permanecer quieto aunque las gotas que lo forman estén cayendo continuamente.

§. ¿En la longitud de onda adecuada?

Veamos ahora qué es en realidad el espectro —el rango ordenado de colores desde el rojo hasta el violeta, pasando por el naranja, el amarillo, el verde y el azul—. ¿Qué hace que la luz roja se desvíe en un ángulo menor que la luz azul?

Podemos pensar en la luz como vibraciones: ondas. Igual que el sonido está hecho de vibraciones en el aire, la luz está hecha de lo que denominamos vibraciones electromagnéticas. No voy a intentar explicar lo que son las vibraciones electromagnéticas porque me llevaría mucho tiempo (y no estoy seguro de entenderlo del todo yo mismo). El asunto aquí es que aunque la luz es muy diferente del sonido, podemos hablar de vibraciones de alta frecuencia (longitud de onda corta) y vibraciones de baja frecuencia (longitud de onda larga), igual que hacemos con el sonido. Los sonidos más altos —agudo o soprano— significan frecuencia alta, o longitud de onda corta. Los de baja frecuencia, o longitud de onda larga, son sonidos bajos. El equivalente en la luz es que el rojo (longitud de onda larga) es el bajo, el amarillo es el barítono, el verde es el tenor, el azul es el alto y el violeta (longitud de onda más corta), el soprano.

Hay sonidos demasiado agudos para que podamos escucharlos. Se denominan ultrasonidos; los murciélagos pueden oírlos y utilizan su eco para moverse. También hay sonidos demasiado bajos para que podamos escucharlos. Se llaman infrasonidos; los elefantes, las ballenas y algunos otros animales utilizan estos sonidos bajos para comunicarse entre ellos. Las notas más bajas del órgano de una gran catedral son incluso demasiado bajas para que las oigamos,



aunque parece como si las «sintiéramos» rebotar dentro de nuestro cuerpo. El rango de los sonidos que los humanos podemos oír es una banda de frecuencias que se encuentra en el medio, entre los ultrasonidos, que son muy altos para nosotros (aunque no para los murciélagos) y los infrasonidos, demasiado bajos para nosotros (pero no para los elefantes).

Con la luz ocurre lo mismo. El color equivalente al ultrasonido que escuchan los murciélagos es el ultravioleta, que significa que está «más allá del violeta». Aunque no podemos ver la luz ultravioleta, los insectos sí pueden. Hay algunas flores que tienen bandas u otros patrones para atraer a los insectos con el fin de que las polinicen, patrones que solo pueden verse en el rango de longitudes de onda ultravioleta. Los insectos pueden verlas, pero nosotros necesitamos instrumentos para traducir los patrones a la parte visible del espectro. La flor onagra de la derecha parece amarilla, sin patrones ni bandas. Pero si la fotografías con una luz ultravioleta podrás ver una serie de bandas. El patrón de la imagen de abajo no es realmente blanco, sino ultravioleta, pero nosotros no podemos ver el ultravioleta, y hemos tenido que representar el patrón con algún color que sí podamos ver, y la persona que hizo el dibujo decidió utilizar el blanco y el negro. Podría haber elegido cualquier otro color.

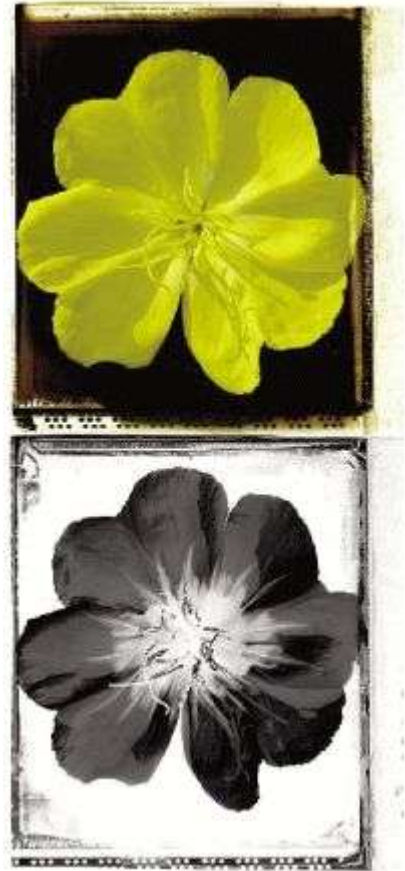
El espectro va subiendo más y más de frecuencia, mucho más allá del ultravioleta, más allá de lo que cualquier insecto puede ver. Los

rayos X podrían definirse como una «luz» más allá de la ultravioleta. Y los rayos gamma están aún más arriba.

En el extremo opuesto del espectro, los insectos no pueden ver el rojo, pero nosotros sí. Más allá del rojo está el «infrarrojo», que no podemos ver, aunque podemos sentir su calor (algunas serpientes son especialmente sensibles a él y lo utilizan para detectar a sus presas) Supongo que una abeja podría llamar al color rojo «infranaranja» Más abajo de los infrarrojos están las microondas, que utilizamos para cocinar. Y aún más abajo (longitud de onda más larga) están las ondas de radio.

Lo que es sorprendente es que la luz que realmente podemos ver los humanos —el espectro o arco iris de colores visibles entre el violeta y el rojo— es tan solo una estrecha banda en mitad del inmenso espectro que va desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. La mayor parte del espectro es invisible para nuestros ojos.

El sol y las estrellas emiten rayos electromagnéticos de un rango completo de frecuencias, desde las ondas de radio en el extremo más «grave» hasta los rayos cósmicos en el extremo más «agudo» Aunque no podemos ver más allá de esa pequeña banda de luz



visible del rojo al violeta, tenemos instrumentos que pueden detectar esos rayos invisibles.



La imagen de la supernova del Capítulo 6 se tomó utilizando los rayos X de la supernova. Los colores de la imagen son colores falsos, como el falso blanco utilizado para mostrar el patrón de la onagra. En la imagen de la supernova, los colores falsos se utilizaron para designar distintas longitudes de onda de los rayos X. Los científicos denominados radioastrónomos toman «fotografías» de las estrellas utilizando ondas de radio en lugar de ondas de luz o de rayos X. El instrumento que utilizan se denomina radiotelescopio. Otros científicos toman fotografías del cielo en el extremo opuesto del espectro, en la banda de rayos X. Aprendemos distintas cosas sobre las estrellas y sobre el universo gracias al uso de distintas partes del

espectro. El hecho de que nuestros ojos puedan ver solo a través de una pequeña hendidura en mitad del gigantesco espectro, que podamos ver únicamente una banda estrecha en el amplio rango de rayos que pueden ver los instrumentos científicos, es una estupenda demostración del poder de la ciencia para incitar a nuestra imaginación: un magnífico ejemplo de la magia de lo real.

En el siguiente capítulo aprenderemos algo aún más maravilloso sobre el arco iris. La dispersión de la luz de una estrella distante dentro de un espectro puede indicarnos no solo de qué está hecha la estrella, sino también cuál es su edad. Y son las pruebas de este tipo —las pruebas del arco iris— las que nos permiten determinar la edad del universo: ¿cuándo empezó todo? Puede parecer increíble, pero lo desvelaremos en el siguiente capítulo.

Capítulo 8

¿Cómo y cuándo empezó todo?



Contenido:

§. Los arcos iris y el desplazamiento hacia el rojo

§. Retrocediendo hasta el big bang

Comencemos con un mito africano de una tribu bantú, los Boshongo del Congo. En el principio no había tierra, solo oscuridad aguada, y también —importante— el dios Bumba. Bumba tuvo un dolor de estómago y vomitó el sol. La luz del sol disipó la oscuridad y su calor evaporó parte del agua, dejando aparecer la tierra. Pero el

dolor de estómago de Bumba seguía sin desaparecer, así que vomitó la luna, las estrellas, los animales y las personas.

En muchos mitos chinos sobre el origen aparece un personaje llamado Pan Gu, descrito a veces como un gigante peludo con cabeza de perro. Este es uno de los mitos de Pan Gu. Al principio no había una distinción clara entre el cielo y la Tierra: todo era una mezcla amorfa alrededor de un gran huevo negro. Dentro del huevo, encogido, estaba Pan Gu. Permaneció dormido dentro del huevo durante 18 000 años. Cuando por fin se despertó quiso escapar, así que cogió su hacha y picó hasta salir. Parte del contenido del huevo era pesado, y cayó para convertirse en la Tierra. La parte más ligera flotó para convertirse en el cielo. La Tierra y el cielo fueron creciendo a una velocidad equivalente a tres metros al día durante otros 18 000 años.



Algunas versiones de la historia muestran a Pan Gu empujando el cielo para separarlo de la Tierra, después de lo cual quedó tan cansado que murió. Varias partes de su cuerpo se convirtieron en el universo que conocemos. Su respiración se convirtió en el viento, su voz se convirtió en el trueno; sus dos ojos se convirtieron en la luna y el sol, sus músculos en tierra de labor y sus venas en caminos. Su

sudor se convirtió en lluvia y sus cabellos, en estrellas. Los humanos son descendientes de los piojos que una vez vivieron en su cuerpo.



Por cierto, la historia de Pan Gu empujando el cielo para separarlo de la Tierra es similar al mito griego de Atlas (aunque probablemente no estén relacionados) que también empujó el cielo hacia arriba (aunque extrañamente, en los cuadros y las estatuas suele aparecer cargando con la Tierra sobre sus hombros).

Este es uno de los muchos mitos indios sobre el origen. Antes del principio de los tiempos había un gran océano negro de vacío, con

una serpiente gigante enrollada en la superficie. Dormido sobre la serpiente estaba el señor Vishnu. Un día el señor Vishnu despertó alertado por una musiquilla procedente del fondo del océano de vacío, y una planta de loto le brotó del ombligo. En mitad de la flor de loto estaba sentado Brahma, sirviente de Vishnu. Vishnu le encargó a Brahma que creara el mundo. Y así lo hizo. ¡Sin problema! Y también todas las criaturas vivientes. ¡Fácil!

Lo que me disgusta un poco de estos mitos sobre el origen es que comienzan asumiendo la existencia de algún tipo de criatura viviente antes de que apareciera el propio universo, Bumba, Brahma o Pan Gu, o Unkulukulu (el creador zulú), o Abassi (Nigeria) o «el anciano del cielo» (para los Salish, una tribu de nativos americanos de Canadá). ¿No sería más lógico pensar que tendría que haber aparecido antes un universo de algún tipo, para proporcionar un lugar de trabajo al espíritu creativo? Ninguno de los mitos proporciona una explicación de cómo apareció el propio creador (suele ser masculino) del universo.

Así que no nos ayudan demasiado. Pasemos a lo que conocemos como la verdadera historia de cómo empezó el universo.



¿Recuerdas que en el Capítulo 1 hablamos sobre los modelos que creaban los científicos para determinar cómo podría ser el mundo real? Después probaban cada modelo utilizándolo para realizar predicciones de cosas que podrían ver —o medidas que podrían ser capaces de tomar— si el modelo fuera correcto. A mitad del siglo XX había dos modelos de cómo había surgido el universo, llamados «estado estacionario» y *big bang* (gran explosión). El modelo estado estacionario era muy elegante, pero terminó demostrándose que era erróneo, es decir, que las predicciones basadas en él resultaron ser falsas. Según el modelo estado estacionario, nunca hubo un comienzo: el universo siempre había existido más o menos como es ahora. El modelo del big bang, por el contrario, sugiere que el universo comenzó en un momento concreto en el tiempo, en un tipo extraño de explosión. Las predicciones que se hicieron basadas en el modelo big bang siguen demostrando ser correctas, y por eso ahora es aceptado en general por la mayoría de los científicos.

Según la versión moderna del modelo big bang, todo el universo observable explotó hace entre 13 000 y 14 000 millones de años. ¿Por qué digo «observable»? El «universo observable» significa todo aquello de lo que tenemos alguna prueba. Es posible que haya otros universos inaccesibles a todos nuestros sentidos e instrumentos. Algunos científicos especulan, quizá de forma caprichosa, que puede haber un «multiuniverso»: una «efervescencia» de universos entre los cuales el nuestro es únicamente una «burbuja» más. O puede ser que el universo observable —el universo en el que vivimos y el único del que tenemos pruebas— sea el único universo real. De

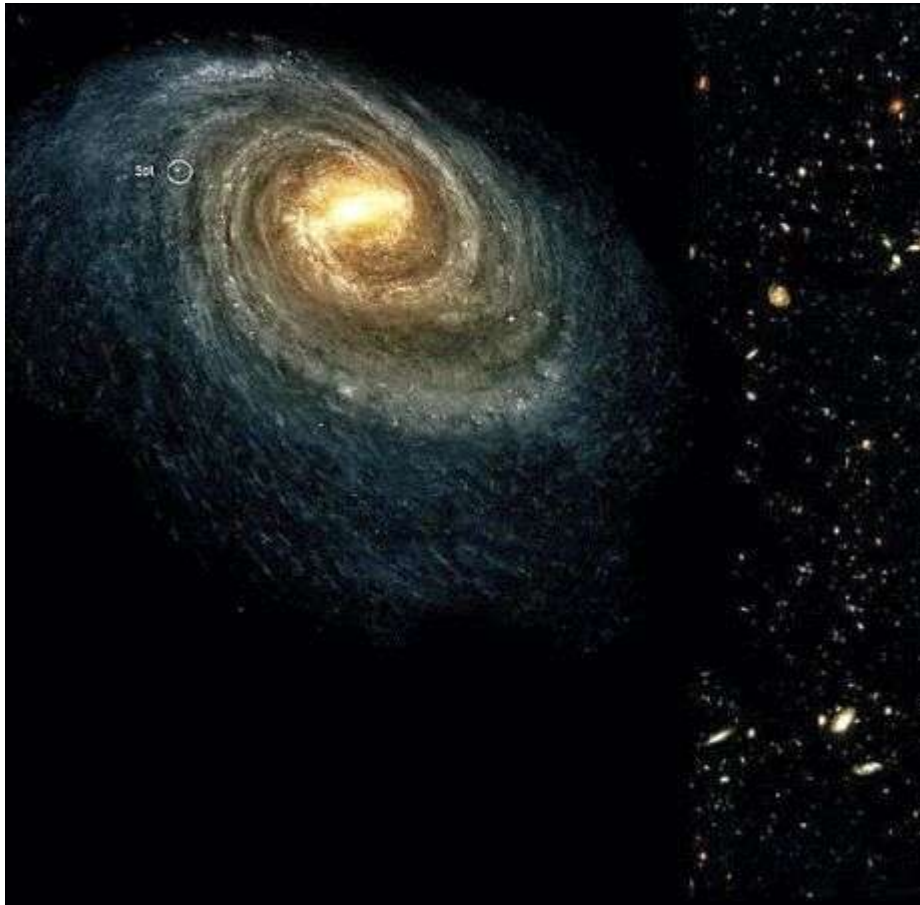
una forma u otra, en este capítulo me limitaré al universo observable. El universo observable parece que comenzó con el big bang, y ese destacado suceso ocurrió hace menos de 14 000 millones de años.

Algunos científicos te dirán que el propio tiempo comenzó con el big bang, y que no debemos preguntarnos qué ocurrió antes, igual que no tiene sentido preguntarnos qué es el norte del polo norte. ¿No lo entiendes? Yo tampoco. Pero lo que sí entiendo, más o menos, son las pruebas de que el big bang ocurrió y cuándo. De eso es de lo que trata este capítulo.

En primer lugar necesito explicar lo que es una galaxia. Ya hemos visto, en nuestra analogía con los balones de fútbol del Capítulo 6, que las estrellas están separadas por distancias gigantescas unas de otras, en comparación con las distancias entre los planetas que orbitan nuestro sol. Pero por muy separadas que estén, las estrellas se agrupan entre sí; y esos grupos se denominan galaxias. Esta es la fotografía de cuatro galaxias:

Cada galaxia se ve como un remolino blanco compuesto en realidad por miles de millones de estrellas, además de nubes de polvo y gas.

Nuestro sol es tan solo una de las estrellas que componen la galaxia concreta denominada la Vía Láctea. Se llama así porque en las noches oscuras podemos ver un extremo de la misma. La verás como un misterioso camino blanco que cruza el cielo, y quizá la confundas con una tenue nube blanca hasta que te des cuenta de lo que es, pero cuando lo hagas, estoy seguro de que te quedarás sin palabras, sobrecogido.



Al estar dentro de la galaxia de la Vía Láctea, nunca podemos verla al completo, pero aquí puedes ver un dibujo de la totalidad, tal como se vería desde fuera, con nuestra posición señalada. Está marcada como «sol» porque a esta escala es imposible apreciar la diferencia entre el sol y cualquiera de sus planetas.

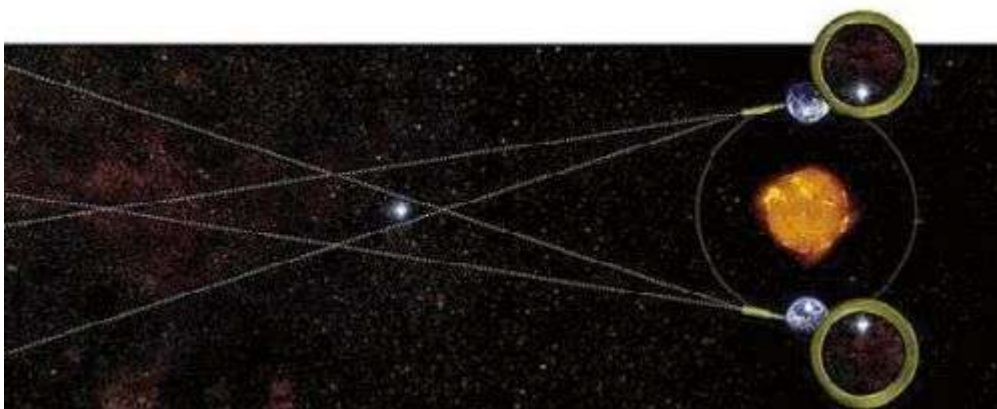
Y a la derecha se muestra una imagen —que no es un dibujo, sino una fotografía real tomada a través de un telescopio— de cientos de galaxias, cada una compuesta por miles de millones de estrellas, igual que nuestra Vía Láctea. No deja de sorprenderme, siempre que miro esa fotografía, que cada una de esas pequeñas lucecitas sea

una galaxia entera, comparable con la Vía Láctea. Pero eso es lo que hay. El universo —nuestro universo observable— es un lugar muy grande.

Vamos ahora con el siguiente asunto importante. ¿Es posible medir la distancia que nos separa de cada galaxia? ¿Cómo? ¿Cómo sabemos a qué distancia está cualquier cosa en el universo? Para las estrellas cercanas el mejor método es utilizar algo denominado «paralaje» Coloca un dedo delante de tu cara y míralo con el ojo izquierdo cerrado. Ahora abre el ojo izquierdo y cierra el derecho. Ve alternando ambos ojos y observarás que la posición aparente de tu dedo salta de un lado a otro. Esto es debido a la diferencia entre los puntos de vista de tus dos ojos. Acerca aún más el dedo y los saltos serán mayores. Aleja el dedo y los saltos serán menores. Todo lo que tienes que saber es a qué distancia están tus ojos y podrás calcular la distancia de los ojos al dedo por el tamaño de esos saltos. Ese es el método de paralaje para el cálculo aproximado de distancias.

Ahora, en lugar de mirar a tu dedo, mira a una estrella en una noche oscura, alternando un ojo y otro. La estrella no se moverá en absoluto. Está demasiado lejos. Para poder hacer que una estrella «salte» de un lado a otro tus ojos tendrían que estar a ¡millones de kilómetros uno del otro! ¿Cómo podemos conseguir el mismo efecto de alternar los ojos a millones de kilómetros de separación? Podemos hacer uso del hecho de que la órbita de la Tierra alrededor del sol tiene un diámetro de 300 millones de kilómetros. Medimos la posición de una estrella cercana, frente a un fondo de otras estrellas. Después, seis meses más tarde, cuando la Tierra esté a

300 millones de kilómetros, en la posición opuesta de su órbita, medimos de nuevo la posición aparente de la estrella. Si la estrella está cerca, su posición aparente habrá «saltado». A partir de la longitud de ese salto, podremos calcular a qué distancia está la estrella.



Lamentablemente, el método de paralaje solo funciona para estrellas cercanas. Para las más alejadas, y también para otras galaxias, nuestros dos ojos alternativos necesitarían estar mucho más lejos que solo 300 millones de kilómetros. Tenemos que encontrar otro método. Podrías pensar que sería fácil hacerlo midiendo el brillo que parecen emitir las galaxias: seguramente, una galaxia más lejana debería brillar menos que una más cercana. El problema es que las dos galaxias podrían tener *en realidad* brillos diferentes. Es algo así como estimar lo lejos que está una vela. Si algunas velas brillan más que otras, ¿cómo podemos saber que estamos mirando a una vela brillante muy alejada, o a una vela de poco brillo que está más cerca?

Por suerte, los astrónomos han descubierto que ciertos tipos especiales de estrellas son lo que ellos denominan «velas estándar». Entienden lo suficiente de lo que está ocurriendo en esas estrellas como para saber cuánto brillo tienen; no cómo las vemos, sino su brillo real, la intensidad de su luz (o de los rayos X o algún otro tipo de radiación que podamos medir) antes de empezar un largo viaje hasta nuestro telescopio. También saben cómo identificar las «velas» especiales; y por eso, si son capaces de localizar al menos una de ellas en una galaxia, los astrónomos pueden utilizarla, con la ayuda de cálculos matemáticos muy precisos, para calcular lo lejos que está la galaxia.

Por tanto, tenemos el método del paralaje para medir distancias muy cortas; y una «serie» de distintos tipos de velas estándar que podemos utilizar para medir un rango de distancias, cada vez mayores, que nos separan de las galaxias muy lejanas.

§. Los arcos iris y el desplazamiento hacia el rojo

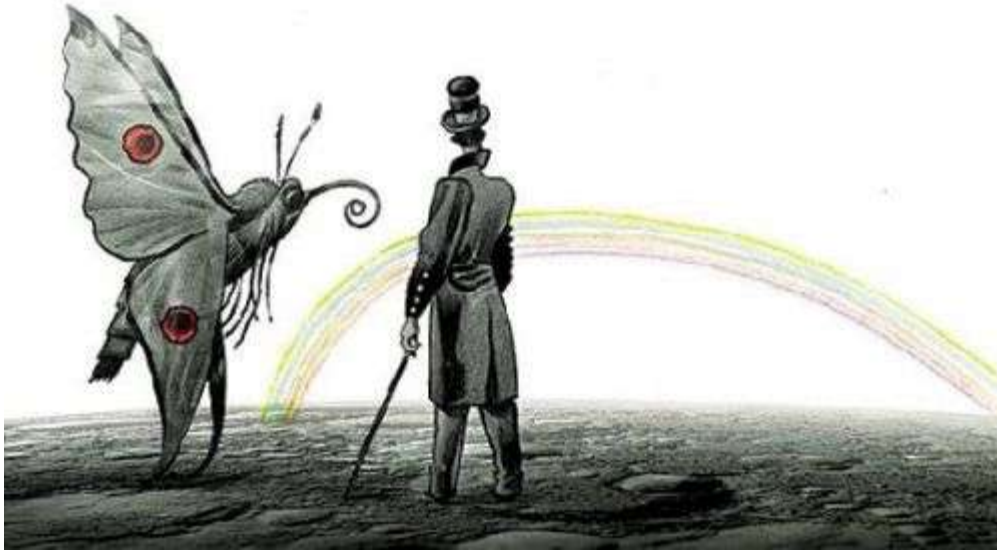
Muy bien, ahora ya sabemos qué es una galaxia y cómo calcular la distancia a la que se encuentra. El siguiente paso nos obliga a hacer uso del espectro de luz que vimos en el Capítulo 7 sobre el arco iris. Una vez me pidieron que escribiera un capítulo para un libro en el que varios científicos debían elegir alguna de las invenciones más importantes de todos los tiempos. Fue divertido, pero tardé mucho en elegir y casi todos los inventos importantes ya estaban cogidos: la rueda, la imprenta, el teléfono, el ordenador, *etc.* Así que elegí un instrumento que estaba seguro de que nadie elegiría, y es muy

importante, aunque poca gente lo habrá utilizado alguna vez (y debo confesar que yo tampoco lo había hecho) Elegí el *espectroscopio*.



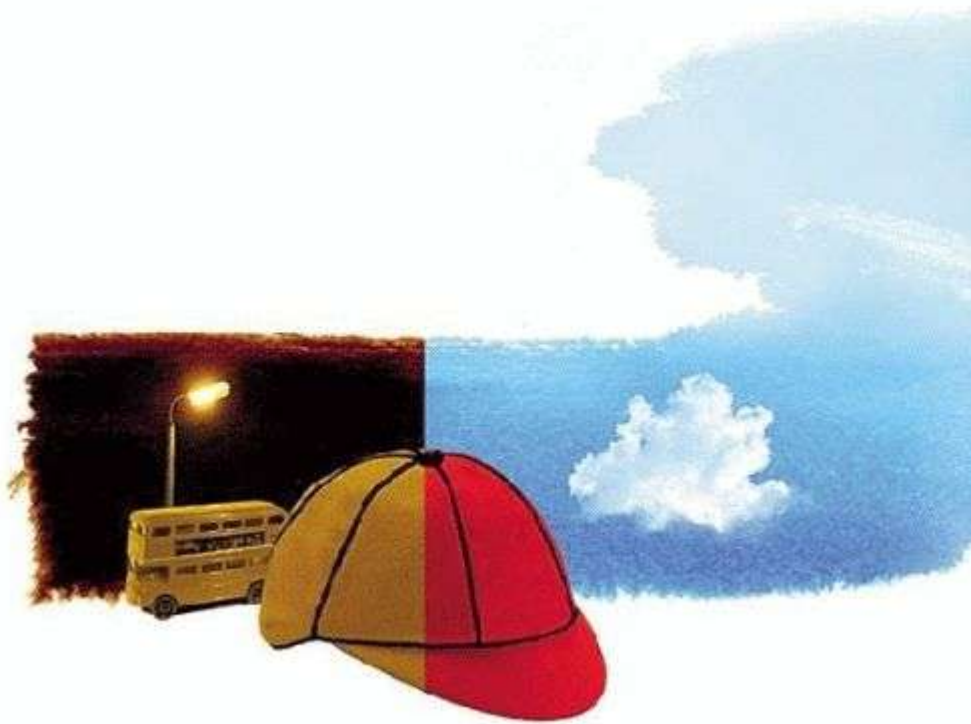
Un espectroscopio es una máquina de fabricar arcos iris. Si se conecta a un telescopio, captura la luz de una estrella o galaxia en particular y la separa como un espectro, igual que hizo Newton con su prisma. Pero es más sofisticado que el prisma de Newton, porque nos permite tomar medidas exactas de la dispersión del espectro de la luz de la estrella. ¿Medidas de qué? ¿Qué se puede medir en un arco iris? Bueno, ahí es donde comienza lo realmente interesante. La luz de las distintas estrellas produce «arcos iris» que son distintos en varios aspectos, y eso puede contarnos mucho sobre las estrellas.

¿Significa esto que la luz de la estrella tiene una variedad de nuevos colores extraños, colores que nunca hemos visto en la Tierra? No, en absoluto. Tú has visto en la Tierra todos los colores que tus ojos son capaces de ver. ¿Te resulta decepcionante? A mí sí, la primera vez que lo entendí. Cuando era un niño me encantaban los libros del Doctor Dolittle, escritos por Hugh Lofting. En uno de los libros el doctor vuela hasta la luna y queda encantado al ver un rango completamente nuevo de colores, nunca vistos antes por los ojos humanos. Me encantaba esa idea. Me resultaba atractivo el hecho de que nuestra conocida Tierra pudiera no ser algo típico frente al resto del universo. Lamentablemente, aunque la idea es atractiva, la historia no era cierta; no *podía* ser cierta. Esto se deduce del descubrimiento de Newton de que los colores que vemos están contenidos en la luz blanca y son revelados cuando la luz blanca se separa en un prisma. No hay más colores fuera del rango que conocemos. Los artistas pueden crear multitud de tonos y sombreados, pero todos son combinaciones de los colores básicos de la luz blanca. Los colores que vemos dentro de nuestra cabeza son en realidad etiquetas creadas por el cerebro para identificar la luz de distintas longitudes de onda. Ya hemos encontrado el rango completo de longitudes de onda aquí en la Tierra. Ni la luna ni las estrellas tienen ninguna sorpresa que ofrecernos en el tema de los colores. Qué lástima.



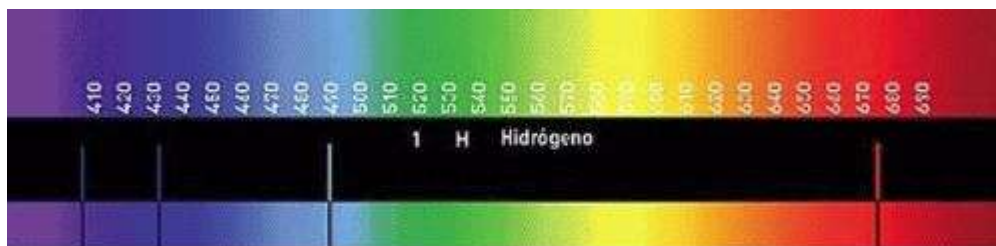
¿Qué quise decir entonces cuando me referí a que las distintas estrellas producen arcos iris diferentes, con diferencias que podemos medir utilizando un espectroscopio? Bueno, se ha descubierto que cuando la luz de la estrella se separa en el espectroscopio, aparecen unos extraños patrones de finas líneas negras en lugares muy concretos a lo largo del espectro. A veces las líneas no son negras, sino de color, y es el fondo el que es negro; una diferencia que explicaré dentro de un momento. El patrón de líneas es similar a un código de barras, el tipo de código de barras que puedes ver en las cosas que compras en las tiendas para identificarlas en la caja. Distintas estrellas tienen el mismo arco iris, pero con diferentes patrones de líneas, y ese patrón es en realidad un tipo de código de barras, porque nos cuenta un montón de cosas sobre la estrella y de qué está hecha.

No solo la luz de las estrellas presenta líneas de código de barras. Las luces en la Tierra también, de forma que podemos investigar en el laboratorio cómo surgen. Y lo que se ha descubierto es que los códigos de barras se corresponden con distintos *elementos*. El sodio, por ejemplo, presenta líneas prominentes en la parte amarilla del espectro. La luz de sodio (producida por un arco eléctrico en vapor de sodio) brilla de color amarillo. El motivo lo entienden bien los científicos físicos, pero yo no, porque soy un biólogo que no entiende la teoría cuántica.



Cuando iba al instituto en la ciudad de Salisbury, al sur de Inglaterra, recuerdo que me fascinaba ver mi brillante gorra roja

bajo la luz amarilla de las farolas. No parecía roja, sino de un marrón amarillento. Igual ocurría con los autobuses rojos de dos plantas. El motivo era el siguiente. Al igual que muchos otros pueblos ingleses en aquella época, Salisbury utilizaba bombillas de vapor de sodio en las farolas. Estas bombillas solo emitían luz en las estrechas regiones del espectro cubiertas por las líneas características del sodio, y con diferencia, las líneas más brillantes del sodio son las amarillas. A todos los efectos, las lámparas de sodio emiten una luz amarilla pura, muy distinta de la luz blanca del sol o de la ligeramente amarilla de una bombilla normal. Como no había prácticamente nada de rojo en la luz suministrada por las lámparas de sodio, ninguna luz roja podía reflejarse de mi gorra. Si te preguntas qué es lo que hace que una gorra o un autobús sean rojos, la respuesta es que las moléculas de tinta o pintura absorben la mayor parte de la luz de todos los colores excepto del rojo. Con la luz blanca, que contiene todas las longitudes de onda, la mayoría de la luz roja es reflejada. Bajo las lámparas de sodio de las farolas no hay luz roja que reflejar, y de ahí el color marrón amarillento.



El sodio es tan solo un ejemplo. Recordarás del Capítulo 4 que todos los elementos tienen su propio número atómico único, que es el número de protones de su núcleo (y también el número de electrones que lo orbitan) Bueno, por motivos relacionados con las órbitas de sus electrones, cada elemento tiene su propio efecto único sobre la luz. Único como un código de barras... De hecho, un código de barras es algo más que un patrón de líneas en el espectro de las luces de las estrellas. Puedes saber cuáles de los 92 elementos naturales se encuentran en una estrella con solo dispersar la luz de dicha estrella en un espectroscopio y observar las líneas del código de barras del espectro.

Hay un sitio web en el que puedes seleccionar cualquier elemento y ver su código de barras espectral: www.booksatransworld.co.uk/dawkins-elements. Basta con mover la barra hasta que encuentres el elemento que deseas. Están ordenados por su número atómico, desde el hidrógeno hacia arriba. La imagen de arriba, por ejemplo, muestra el hidrógeno, el elemento 1 (porque solo tiene un protón, como recordarás) Puedes ver que el hidrógeno genera cuatro barras, una en la parte violeta del espectro, una en la del azul oscuro, una la del azul claro y otra en la del rojo (las longitudes de onda de los distintos colores se muestran en los números de arriba).

Para entender las imágenes de este sitio web necesitamos tener claro un par de conceptos sin los cuales pueden resultar confusas. En primer lugar, observa las dos formas en las que aparecen las barras: como líneas coloreadas sobre fondo negro (en la parte

superior de la imagen) y como líneas negras sobre fondo coloreado (en la parte inferior de la imagen). Se denominan espectro de emisión (coloreado sobre fondo negro) y espectro de absorción (negro sobre fondo coloreado) Cuál elegir dependerá de si el elemento concreto emite luz (como el elemento sodio en una farola de lámpara de sodio) o si se encuentra en el camino de la luz (como suele ser el caso de un elemento presente en una estrella). No me voy a entretener con esta distinción. Lo importante aquí es que las barras aparecen en los mismos lugares del espectro en ambos casos. El patrón de código de barras es el mismo para cualquier elemento particular, tanto si las líneas son negras como si son de color.



El otro detalle complicado es que algunas barras destacan mucho más que otras. Cuando observamos la luz de una estrella con un espectroscopio, normalmente solo vemos las barras más gruesas. Pero este sitio web nos muestra todas las líneas, incluyendo las más débiles, que pueden ser vistas en el laboratorio pero no normalmente en la luz de una estrella. El sodio es un buen ejemplo. A efectos prácticos, la luz del sodio es amarilla y sus barras más destacadas aparecen en la parte amarilla del espectro: puedes olvidar el resto de las barras, aunque es interesante que estén allí,

porque hacen que los patrones se parezcan más a los códigos de barras.

Este es el espectro de emisión del sodio, en el que se muestran únicamente las tres barras más gruesas. Puedes ver cómo el amarillo es el color dominante.

Por tanto, como cada elemento tiene un patrón de código de barras diferente, podemos estudiar la luz de cualquier estrella y determinar qué elementos están presentes en la misma. Debo admitir que se trata de un pequeño truco porque los códigos de barras de los distintos elementos pueden mezclarse. Pero existen formas de ordenarlos. ¡Qué herramienta tan maravillosa es el espectroscopio!



Y es aún mejor. El espectro del sodio que se muestra al final de la página anterior es lo que ves si miras a una farola de sodio de Salisbury, o a una estrella no muy lejana. La mayoría de las estrellas que vemos —por ejemplo, las estrellas de las conocidas constelaciones del zodiaco— están en nuestra propia galaxia. Y la imagen que se muestra aquí del espectro de la luz de sodio es lo que verás si miras a cualquiera de ellas. Pero si observas el espectro del

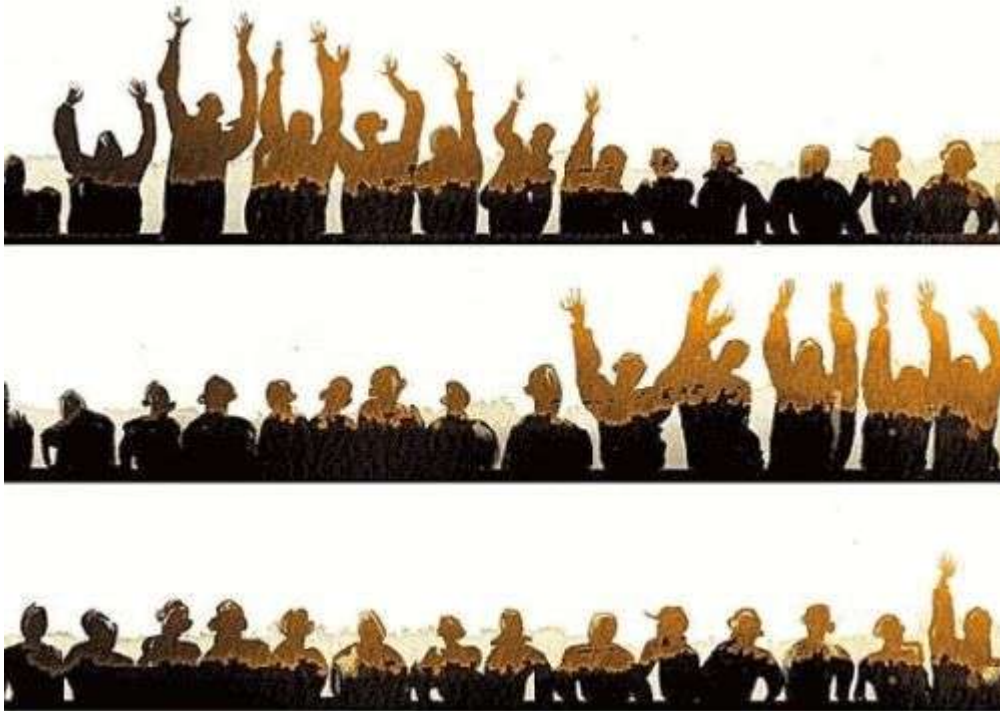
sodio de una estrella que esté en una galaxia distinta, obtendrás una imagen fascinantemente diferente. En la parte superior de esta página se muestra el patrón del código de barras del sodio de tres lugares diferentes: de la Tierra (o una estrella más cercana), de una estrella lejana en una galaxia cercana y de una galaxia muy lejana.

Observa primero el patrón de código de barras de la luz de sodio procedente de la galaxia lejana (la imagen de abajo) y compáralo con el código de barras generado por la luz de sodio en la Tierra (la imagen de arriba) Podrás ver el mismo patrón de barras separado por la misma distancia unas de otras. Pero el patrón completo se desplaza hacia el extremo rojo del espectro. ¿Cómo sabemos entonces que sigue siendo sodio? La respuesta es que el patrón de espaciado entre las barras es el mismo. Puede que esto no resulte del todo convincente si solo ocurre con el sodio. Pero sucede lo mismo con todos los elementos. En cada caso vemos el mismo patrón de espaciado, característico del elemento en concreto, pero desplazado a lo largo del espectro hacia el extremo rojo. Y lo que es más, para una galaxia en concreto, todos los códigos de barras se desplazan la misma distancia a lo largo del espectro.

Si observas la imagen del centro, en la que se muestra el código de barras del sodio en la luz de una galaxia más o menos cercana a la nuestra —más cercana que las galaxias muy distantes de las que he hablado en el párrafo anterior, pero más lejana que las estrellas de nuestra propia Vía Láctea— verás un desplazamiento intermedio. El patrón de espaciado que puedes ver es el mismo, que es la firma del sodio, pero no está desplazado tan lejos. La primera línea se

desplaza a lo largo del espectro desde el extremo azul, pero sin llegar al verde: solo hasta el azul claro. Y las dos líneas en amarillo (que se combinan para hacer el color amarillo de las farolas de Salisbury) están desplazadas en la misma dirección, hacia el extremo rojo del espectro, pero no tan medidas en el rojo como las de la luz de una galaxia distante: solo un poco en el naranja.

El sodio es tan solo un ejemplo. Cualquier otro elemento muestra el mismo desplazamiento a lo largo del espectro hacia el extremo rojo.



Cuanto más distante esté la galaxia, mayor será el desplazamiento hacia el rojo. Eso es lo que se denomina «desplazamiento de Hubble», porque fue descubierto por el gran astrónomo estadounidense Edwin Hubble, que también dio su nombre, a título

póstumo, al telescopio Hubble, que casualmente fue utilizado para fotografiar las galaxias muy lejanas que se muestran en la página 167. También se denomina «desplazamiento hacia el rojo», porque el desplazamiento a lo largo del espectro se produce en dirección al rojo.

§. Retrocediendo hasta el *big bang*

¿Qué significa el desplazamiento hacia el rojo? Afortunadamente, los científicos lo entienden muy bien. Es un ejemplo de lo que se denomina «desplazamiento Doppler». El desplazamiento Doppler puede ocurrir con cualquier tipo de ondas, y la luz, tal como vimos en el capítulo anterior, está hecha de ondas. Suele denominarse también «efecto Doppler» y solemos verlo más a menudo en las ondas de sonido. Cuando te encuentras parado al lado de una carretera, viendo pasar los coches a gran velocidad, el sonido del motor de cada coche parece ir haciéndose más grave o bajo cuando te sobrepasa. Tú sabes que las notas emitidas por el motor del coche siempre son las mismas, ¿qué hace entonces que parezcan más graves? La respuesta es el efecto Doppler, y esta es la explicación.

El sonido viaja a través del aire en forma de ondas de presión de aire variable. Cuando escuchas la nota del motor de un coche —o de una trompeta, que es más agradable que un motor—, las ondas del sonido viajan a través del aire en todas direcciones desde la fuente que las emite. Tu oído está en una de esas direcciones, captura los cambios en la presión del aire producidos por la trompeta, y tu

cerebro los interpreta como un sonido. No imagines moléculas del aire fluyendo desde la trompeta hasta tu oído. No es así: eso sería un viento, y los vientos viajan únicamente en una dirección, mientras que las ondas de sonido se expanden en todas direcciones, como las ondas en la superficie de un estanque cuando arrojamamos una piedra.

El tipo de onda más fácil de entender es la denominada «ola» (dibujo de arriba), en la que la gente en las gradas de un estadio se levantan y después se sientan en orden, cada uno justo después del que tiene a la izquierda. Una ola de gente que se levanta y luego se sienta recorre suavemente todo el estadio. En realidad nadie se mueve de su lugar, pero la ola sí. De hecho, la ola viaja más deprisa de lo que lo podría hacer cualquier persona.



Lo que viaja en una laguna es una onda de altura variable en la superficie del agua. Lo que la convierte en una onda es que las moléculas de agua no se mueven alejándose de la piedra. Las moléculas de agua simplemente suben y bajan, como la gente del estadio. En realidad, nada se aleja de la piedra. Solo parece que lo hacen porque los puntos alto y bajo del agua se mueven hacia fuera.

Las ondas de sonido son algo diferentes. Lo que viaja en el caso del sonido es una onda de presión de aire variable. Las moléculas del aire se mueven un poco, de un lado a otro, desde la trompeta o cualquiera que sea la fuente del sonido, y regresan a su posición. A medida que lo hacen, golpean a las moléculas de aire contiguas y las obligan a moverse hacia delante y hacia atrás. Esto a su vez golpea a las siguientes y el resultado es que una onda de moléculas chocando entre sí —que es lo mismo que una onda de presión cambiante— viaja alejándose de la trompeta en todas direcciones. Y esa es la onda que viaja desde la trompeta hasta tu oído, no las propias moléculas del aire. La onda viaja a una velocidad fija, independientemente de si el origen del sonido es una trompeta, la voz de una persona o el claxon de un coche: unos 1236 kilómetros por hora en el aire (cuatro veces más deprisa bajo el agua e incluso más deprisa aún en algunos sólidos). Si tocas una nota más alta con tu trompeta, la velocidad a la que viajan las ondas sigue siendo la misma, pero la distancia entre las crestas de las ondas (la *longitud de onda*) será más corta. Toca ahora una nota baja y las crestas de la ola se separarán más, pero la onda seguirá viajando a

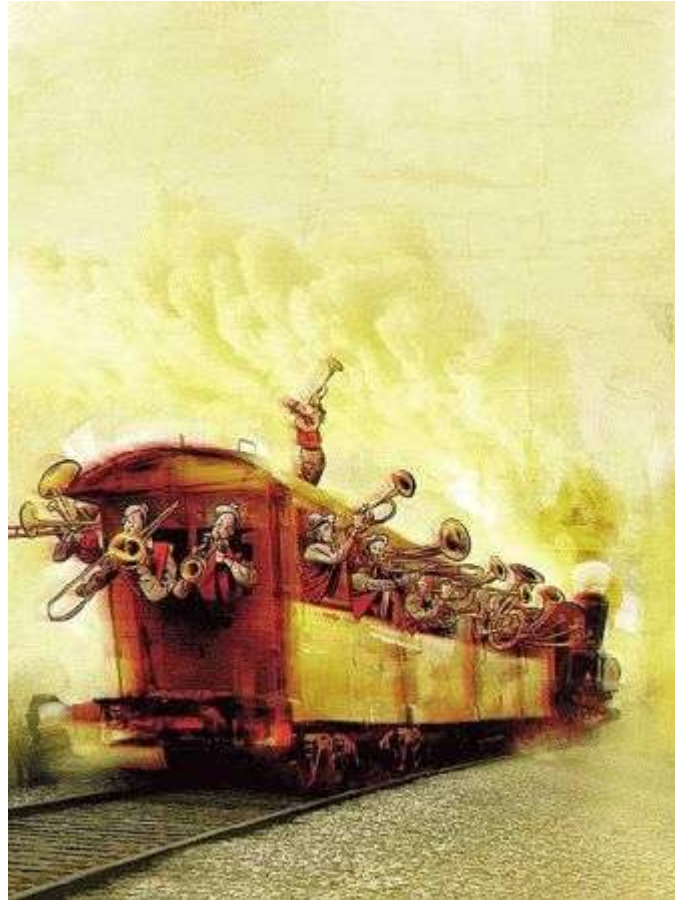
la misma velocidad. Las notas más agudas tienen, por tanto, una longitud de onda más corta que las notas más graves.

Así son las ondas de sonido. Vamos ahora con el efecto Doppler. Imagina que un trompetista está de pie en una ladera cubierta de nieve y toca una nota larga y sostenida. Tú bajas sobre un trineo y pasas a gran velocidad por delante del trompetista (he elegido un trineo en lugar de un coche porque es silencioso, y así puedes oír la trompeta). ¿Qué es lo que escuchas? Las sucesivas crestas de la onda que emite la trompeta a una distancia concreta unas de otras, distancia determinada por la nota que el trompetista ha decidido tocar. Pero cuando te acercas hacia el trompetista, tu oído atrapa las crestas sucesivas de la onda a una velocidad mayor que si estuvieras quieto en la cima de la colina. Por tanto, la nota de la trompeta sonará más alta de lo que realmente es. Después, una vez que hayas pasado por delante del trompetista, tu oído empezará a recibir las crestas de la onda a una velocidad más baja (parecerán más espaciadas, porque las crestas viajan en la misma dirección que tu trineo), de manera que el sonido aparente de la nota será más grave de lo que en realidad es. Ocurre lo mismo si tú estás quieto y es la fuente del sonido la que se mueve. Se cuenta (aunque yo no sé si es cierto, pero es una historia bonita) que Christian Doppler, el científico austriaco que descubrió este efecto, contrató a una banda para tocar en un vagón de tren abierto, con el fin de demostrarlo. El tono al que tocaba la banda cayó a notas más bajas cuando el tren pasó delante del asombrado público.



Las ondas de luz también son diferentes en esto, ni como la ola de los estadios ni como las ondas de sonido. Pero también tienen su propia versión del efecto Doppler. Recuerda que el extremo rojo del espectro tiene una longitud de onda mayor que el extremo azul, con el verde en el medio. Supón que los músicos que viajan en el tren de Christian Doppler llevan todos uniformes amarillos. A medida que el tren se acerque hacia ti a toda velocidad, tu ojo capturarás las crestas de las ondas a una velocidad más alta de lo que lo haría si el tren estuviera parado. Por tanto, hay una ligera variación en el color del uniforme hacia la parte verde del espectro. Ahora, cuando el tren

pasa por delante de ti y se aleja a toda velocidad, ocurre lo contrario, y los uniformes de la banda parecen algo más rojos.



Solo hay un error en esta ilustración. Para que pudieras apreciar mejor el desplazamiento hacia el rojo o hacia el azul, el tren debería viajar a millones de kilómetros por hora. Los trenes nunca van a velocidades tan altas como para que se pueda apreciar el efecto Doppler. Pero las galaxias sí. El desplazamiento en el espectro hacia el extremo rojo, que puedes ver claramente en las posiciones de las líneas del código de barras del sodio en la imagen de la página 172, muestra que las galaxias muy lejanas están alejándose de nosotros

a una velocidad de miles de millones de kilómetros por hora, y cuanto más lejos están (según las mediciones de las «velas estándar» que mencioné antes), más deprisa se alejan de nosotros (más se desplazan hacia el rojo).

Todas las galaxias del universo están alejándose continuamente las unas de las otras, lo que significa que también se están alejando de nosotros. No importa hacia dónde apuntes tu telescopio, las galaxias más lejanas se alejan de nosotros (y unas de las otras) a una velocidad cada vez mayor. El universo entero —el propio espacio— se está expandiendo a una velocidad colosal.

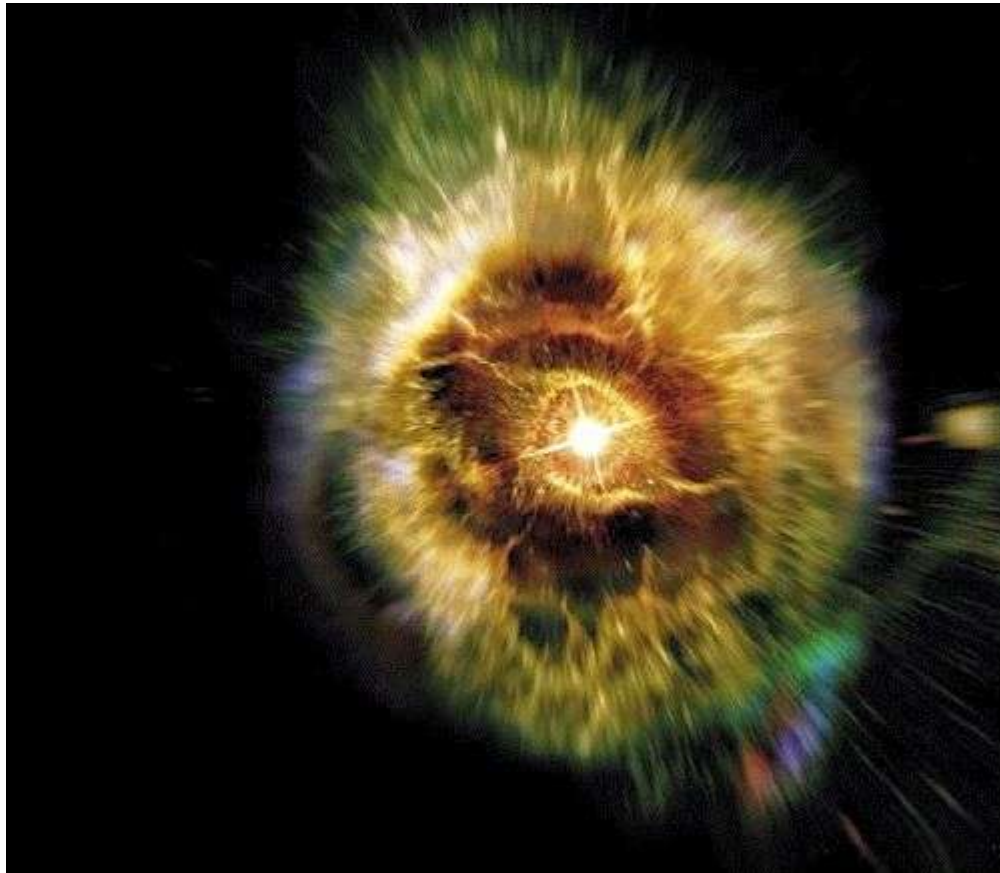
En ese caso, podrías preguntarme, ¿por qué solo se ve expandirse el espacio a nivel de galaxias? ¿Por qué las estrellas que están en una galaxia cercana no se separan unas de otras? ¿Por qué tú y yo no nos estamos separando ahora mismo? La respuesta es que las cosas que están cerca unas de otras, como todo lo que hay dentro de una galaxia, sienten la fuerte atracción gravitatoria de sus vecinas. Eso nos mantiene juntos, mientras que los objetos más distantes —otras galaxias— se alejan con la expansión del universo.

Y ahora algo asombroso. Algunos astrónomos han estudiado la expansión y han retrocedido en el tiempo. Es como si hubieran construido una película del universo en expansión con las galaxias separándose y después hubieran pasado la película en sentido contrario. En lugar de alejarse unas de otras, en la versión inversa de la película las galaxias se acercan. Y a partir de esa película los astrónomos pueden calcular el momento en el que debió de comenzar la expansión del universo. Incluso pueden calcular cuál

fue el momento exacto. Así es como saben que fue más o menos hace entre 13 000 y 14 000 millones de años. Ese fue el momento en el que comenzó el universo, el momento denominado

BIG BANG.

Los «modelos» actuales del universo asumen que no solo fue el universo el que comenzó con el *big bang*: también el tiempo y el espacio comenzaron con el *big bang*.



No me pidas que te lo explique, porque como no soy cosmólogo, no lo entiendo ni yo mismo. Pero quizá ahora comprendes por qué he

dicho que el espectroscopio es uno de los inventos más importantes de todos los tiempos. Los arcos iris no solamente son preciosos a la vista. En cierto sentido, nos dicen cuándo empezó todo, incluyendo el tiempo y el espacio. Creo que eso hace al arco iris aún más maravilloso.

Capítulo 9

¿Estamos solos?

*Contenido:*

§. *A la búsqueda de zonas de habitabilidad (zonas Goldilocks)*

§. *Alguien te mira*

Por lo que yo sé, son muy pocas, si es que hay alguna, las leyendas antiguas que hablan de alienígenas en otras partes del universo, quizá porque la simple idea de que exista un universo mucho mayor que nuestro propio mundo no surgió nunca. Antes del siglo XVI, los científicos ni siquiera tenían claro que la Tierra orbitaba alrededor del sol, ni que otros planetas también lo hacían. Pero la distancia y el número de estrellas, por no hablar de otras galaxias, era algo de lo que no se hablaba, ni siquiera se soñaba, hasta la época

moderna. Y no hace tanto que la gente ha aceptado que la dirección que consideramos hacia arriba en una parte del mundo (como Borneo, por ejemplo) sería hacia abajo en otra parte del mundo (por ejemplo, en Brasil) Antes de eso, la gente creía que «arriba» siempre era la misma dirección en cualquier sitio, la dirección hacia donde vivían los dioses, «sobre» los cielos.

Han existido infinidad de leyendas y creencias sobre extrañas criaturas muy cercanas: demonios, espíritus, genios, fantasmas... la lista es extensa. Pero en este capítulo, cuando pregunto si «estamos solos» me refiero a: « ¿Hay formas de vida alienígena en otros mundos en alguna parte del universo?». Como ya he dicho, es extraño encontrar mitos de este tipo entre las tribus antiguas. Sí son bastante habituales, sin embargo, entre los modernos ciudadanos urbanos. Los mitos actuales son interesantes porque, a diferencia de los antiguos, podemos verlos nacer. Vemos mitos que surgen delante de nuestros ojos. Por eso los mitos de este capítulo van a ser modernos.

En California, en marzo de 1997, una secta religiosa llamada «La puerta del cielo» terminó de una forma trágica cuando 39 de sus miembros se envenenaron. Se suicidaron porque creían que un ovni del espacio exterior recogería sus almas y se las llevaría a otro mundo. En aquel momento un cometa brillante llamado Hale-Bopp era visible en el cielo, y los miembros de la secta creyeron —porque su líder espiritual así se lo dijo— que una nave espacial acompañaba al cometa en su viaje. Compraron un telescopio para observarlo, pero después lo devolvieron a la tienda porque «no

funcionaba». ¿Cómo supieron que no funcionaba? ¡Porque no lograron ver la nave espacial!

¿Creía el líder de la secta, un hombre llamado Marshall Applewhite, en el sinsentido que inculcó a sus seguidores? Probablemente sí, porque él también tomó el veneno, así que ¡podemos creer que era sincero! Muchos líderes de sectas buscan únicamente poseer a sus seguidoras femeninas, pero Marshall Applewhite fue uno de los muchos miembros de su secta que previamente habían sido castrados, por lo que no cabe pensar que el sexo fuera su idea principal.



Una cosa que todas esas personas parecen tener en común es su amor por la ciencia ficción. Los miembros de la secta «La puerta del cielo» estaban obsesionados con *Star Trek*. Las historias de ciencia

ficción sobre seres de otros planetas no escasean, desde luego, pero la mayoría de nosotros sabemos que es eso lo que son: ficción, historias inventadas, no cosas que realmente hayan pasado. Pero hay algunas personas que creen firmemente, sinceramente y sin lugar a duda que han sido capturadas («abducidas») por alienígenas del espacio exterior. Y tienen tantas ganas de creerlo que lo hacen basándose en «pruebas» irrisorias. Un hombre, por ejemplo, creía haber sido abducido por algo tan simple como que solía sangrar por la nariz. Su teoría era que los alienígenas le habían colocado un radiotransmisor en la nariz para poder espiarlo. También creía que él mismo era medio alienígena, porque su color de piel era algo más oscuro que el de sus parientes.

Un número increíblemente grande de estadounidenses, muchos de ellos normales por lo demás, creen sinceramente que han sido llevados a bordo de platillos volantes y que han sido víctimas de horribles experimentos llevados a cabo por pequeños hombrecillos verdes con grandes cabezas y enormes ojos abombados. Hay una mitología bastante extensa sobre «abducciones alienígenas», tan llena de imágenes y detalles como la propia mitología griega y sus dioses del monte Olimpo. Pero estos mitos sobre abducciones son modernos, e incluso puedes hablar con personas que afirman haber sido abducidas: aparentemente normales, cuerdas, juiciosas, que te dirán que han mirado a los alienígenas a la cara; te dirán, de hecho, qué aspecto tenían, y lo que les dijeron mientras les sometían a esos repugnantes experimentos y les introducían agujas en el cuerpo (los alienígenas hablan inglés, ¡por supuesto!).

Susan Clancy es una de los muchos psicólogos que han realizado estudios detallados sobre personas que afirman haber sido abducidas. No todas ellas conservan recuerdos claros del hecho, e incluso algunas ningún recuerdo en absoluto. Lo justifican diciendo que los alienígenas, obviamente, habrán utilizado alguna técnica diabólica para borrarles la memoria después de haber terminado el experimento con sus cuerpos. A veces acuden a hipnotizadores o a psicoterapeutas de algún tipo para que les ayuden a «recuperar los recuerdos perdidos».

Recuperar recuerdos «perdidos» es otra historia completa; por cierto, interesante en sí misma. Cuando creemos recordar un incidente real, podemos estar recordando únicamente otro recuerdo... y así retroceder hasta lo que pudo o no haber ocurrido en el incidente original. Los recuerdos de recuerdos de recuerdos pueden ir distorsionándose progresivamente. Existen pruebas fiables de que algunos de nuestros recuerdos más vívidos son en realidad *falsos*. Y los recuerdos falsos pueden ser implantados deliberadamente por «terapeutas» sin escrúpulos.

El síndrome de los recuerdos falsos nos ayuda a entender por qué algunas de las personas que creen haber sido abducidas por alienígenas insisten en que tienen recuerdos muy claros del incidente. Lo que suele ocurrir es que una persona se obsesiona con los alienígenas a través de noticias que lee en los periódicos sobre otras personas que afirman haber sido abducidas. A menudo, como ya he dicho, esas personas son fanáticos de *Star Trek* o de otras historias de ciencia ficción. Es un hecho demostrado que los

alienígenas que creen haber conocido suelen tener el mismo aspecto que los que aparecen en las series más recientes de televisión sobre alienígenas, y también realizan el mismo tipo de «experimentos» que acaban de aparecer en la tele.

Lo siguiente que puede ocurrir es que la persona sufra un episodio de pánico llamado parálisis del sueño. Es bastante común. Quizá tú mismo hayas experimentado alguno, en cuyo caso espero que la próxima vez sea menos aterrador gracias a lo que te voy a contar a continuación.

Normalmente, cuando estás dormido y soñando, tu cuerpo está paralizado. Imagino que es para evitar que tus músculos se muevan acompañando a tu sueño y te pasees por ahí sonámbulo (aunque a veces ocurre). Y normalmente, cuando despiertas y tu sueño se desvanece, la parálisis desaparece y puedes mover los músculos.

Pero en ocasiones se produce un retraso desde que tu mente recobra la consciencia hasta que tus músculos recuperan la actividad, y eso es lo que se denomina parálisis del sueño. Es aterrador, como podrás imaginar. Estás despierto en cierto sentido, y puedes ver tu habitación y todo lo que hay en ella, pero no puedes moverte. La parálisis del sueño suele venir acompañada por alucinaciones terroríficas. Quien la padece suele sentirse rodeado por una sensación de peligro espantosa a la que son incapaces de poner nombre. A veces incluso, ven cosas que no están allí, como en un sueño. Y como también ocurre en los sueños, todo les parece absolutamente real.

Ahora, si tuvieras que tener una alucinación producida por la parálisis del sueño, ¿qué aspecto tendría? Un fanático de la ciencia ficción moderna podría ver hombrecillos verdes con cabezas enormes y ojos abombados. Hace siglos, antes de la aparición de la ciencia ficción, las apariciones que tenía la gente eran distintas: duendecillos, quizá, o tal vez hombres lobo; vampiros chupadores de sangre o (si tenían suerte) maravillosos ángeles alados.

El tema es que las imágenes que alguien ve cuando sufre una parálisis del sueño no están realmente ahí, aparecen en la mente a partir de antiguos miedos, leyendas o ficción. Incluso aunque no alucinen, la experiencia es tan aterradora que, cuando por fin logran despertar las víctimas de la parálisis del sueño, suelen creer que les ha ocurrido algo horrible. Si eres de los que creen en vampiros, podrías despertar con la certeza de que un chupador de sangre te ha atacado. Si yo soy más de creer en abducciones, podría despertar creyendo haber sido abducido y mis recuerdos borrados por los alienígenas.

Lo siguiente que les suele ocurrir a quienes sufren parálisis del sueño es que, incluso aunque no alucinen con alienígenas ni experimentos espantosos en ese momento, la reconstrucción de lo que sospechan que ha sucedido se consolida como un falso recuerdo. Este proceso se ve reforzado de vez en cuando por familiares y amigos, que les piden más y más detalles de lo ocurrido, e incluso les dirigen con preguntas del tipo: « ¿Había alienígenas? ¿De qué color eran? ¿Eran grises? ¿Tenían ojos abombados como los de las películas?». Las propias preguntas pueden ser suficientes

para crear o consolidar un falso recuerdo. Cuando lo ves de esta forma, ya no sorprende tanto que en una encuesta realizada en 1992 se llegara a la conclusión de que cerca de cuatro millones de estadounidenses creían haber sido abducidos por alienígenas.



Mi amiga, la psicóloga Sue Blackmore, señala que la parálisis del sueño es también la causa más probable de los horrores imaginados más antiguos, antes de que se popularizaran los alienígenas. En la Edad Media la gente afirmaba haber recibido en mitad de la noche la visita de un «íncubo» (un demonio que visitaba a las mujeres para tener sexo con ellas) o de un «súcubo» (una demonio femenina que visitaba a los hombres con iguales intenciones). Uno de los efectos de la parálisis del sueño es que, si tratas de moverte, sientes como si algo te presionara y te impidiera hacerlo. Esto podría interpretarse fácilmente como un ataque sexual. Una leyenda de la

isla de Terranova habla sobre una «bruja anciana» que visitaba por la noche a la gente y les presionaba el pecho. Y en una leyenda de Indochina aparece un «fantasma gris» que les visita a medianoche y les paraliza.



Ya tenemos una idea clara de por qué la gente cree haber sido abducida por alienígenas, y podemos conectar los mitos modernos de abducción alienígena con los más antiguos sobre íncubos y súcubos, o vampiros que nos visitan por la noche y nos chupan la sangre. No hay pruebas fiables de que este planeta haya sido visitado alguna vez por seres extraterrestres (ni tampoco de la

existencia de íncubos, súcubos o demonios de cualquier tipo). Pero aún nos queda la pregunta de si existe realmente vida en otros planetas. El hecho de que no nos hayan visitado no significa que no existan. ¿Es posible que en otros planetas también se hayan producido procesos evolutivos como el nuestro, o incluso muy distintos del nuestro?

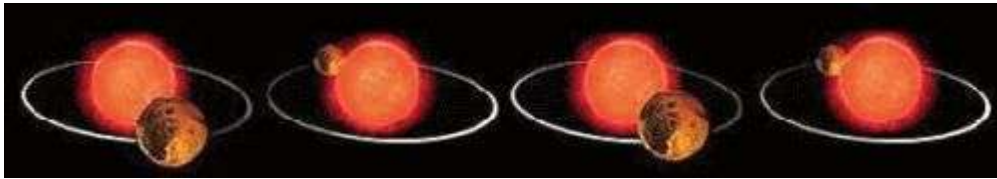
Quién sabe. Si me obligaras a darte una respuesta te diría que sí, y que probablemente la hay en millones de planetas. ¿Pero a quién le importa una opinión? No hay pruebas directas. Una de las grandes virtudes de la ciencia es que los científicos saben cuándo carecen de respuesta para una pregunta. Admiten alegremente que no lo saben. Alegremente porque no conocer la respuesta es un aliciente para buscarla.

Puede que algún día tengamos una prueba definitiva de la vida en otros planetas, y entonces lo sabremos con seguridad. Por ahora, lo mejor que pueden hacer los científicos es publicar el tipo de informaciones que ayuden a reducir las incertidumbres, que nos hagan pasar de suposiciones a estimaciones de probabilidad. Y eso, en sí, ya es un desafío interesante al que enfrentarse.

Lo primero que cabría preguntarse es cuántos planetas hay. Hasta hace bien poco, era posible creer que los que orbitaban al sol eran los únicos, porque era imposible detectar planetas ni siquiera con los telescopios más potentes. A día de hoy hay pruebas fiables de que muchas estrellas tienen planetas, y cada día se descubren nuevos planetas «extrasolares». Un planeta extrasolar es cualquier planeta que orbite una estrella distinta del sol.

Podrías pensar que la forma más obvia de detectar un planeta es mediante un telescopio. Por desgracia, los planetas son muy pequeños como para verlos a gran distancia —no brillan con luz propia, sino con la que reflejan de su estrella—, de forma que no podemos verlos directamente. Tenemos que utilizar métodos indirectos, y el mejor de todos vuelve a ser el que utiliza el espectroscopio, el instrumento que conocimos en el Capítulo 8. Así es como funciona.

Cuando un cuerpo celeste orbita a otro de tamaño aproximadamente igual, se orbitan uno a otro, porque ejercen aproximadamente la misma fuerza gravitatoria uno con otro. Muchas de las estrellas brillantes que vemos cuando miramos al cielo son en realidad dos estrellas —denominadas binarias— orbitando una alrededor de la otra como si fueran las pesas de una mancuerna conectadas por una barra invisible. Cuando un cuerpo es mucho más pequeño que el otro, como ocurre con un planeta y su estrella, el más pequeño orbita alrededor del más grande, mientras que el grande solo experimenta ligeros movimientos en respuesta a la gravedad del pequeño. Decimos que la Tierra orbita al sol, pero en realidad también el sol realiza pequeños movimientos en respuesta a la gravedad terrestre. Y un planeta tan grande como Júpiter puede tener un efecto apreciable sobre la posición de su estrella. Estos movimientos de respuesta en la estrella son muy pequeños como para decir que «rodea» al planeta, pero suficientemente grandes como para ser detectados por nuestros instrumentos, incluso aunque no podamos ver el planeta.



El modo de detectar estos movimientos es interesante en sí mismo. Cualquier estrella está demasiado lejos de nosotros como para poder ver ese movimiento, ni siquiera con un potente telescopio. Pero por extraño que parezca, aunque no podamos ver a la estrella moverse, podemos medir la velocidad a la que lo hace. Suena raro, pero es ahí donde el espectroscopio entra en escena. ¿Recuerdas el efecto Doppler del Capítulo 8? Cuando el movimiento de la estrella se produce alejándose de nosotros, su luz se desplaza hacia el rojo. Si el movimiento la acerca a nosotros, el desplazamiento es hacia el azul. Por tanto, si una estrella tiene un planeta en órbita, el espectroscopio mostrará una variación rítmica que marcará un patrón rojo-azul-rojo-azul, y el tiempo de esos saltos regulares nos indicará la duración del año en ese planeta. Como es lógico, resulta complicado cuando hay más de un planeta. Pero los astrónomos son buenos con las matemáticas y pueden solventar esa complicación. Mientras escribo este libro (enero de 2011) se han detectado con ese método 484 planetas orbitando 408 estrellas. Seguramente serán más cuando estés leyendo esto.

Hay otras maneras para detectar planetas. Por ejemplo, cuando un planeta pasa por delante de una estrella, una mínima porción de esa estrella se oscurece o eclipsa, como cuando vemos la luna

eclipsando al sol, salvo que la luna parece mucho mayor porque está mucho más cerca.

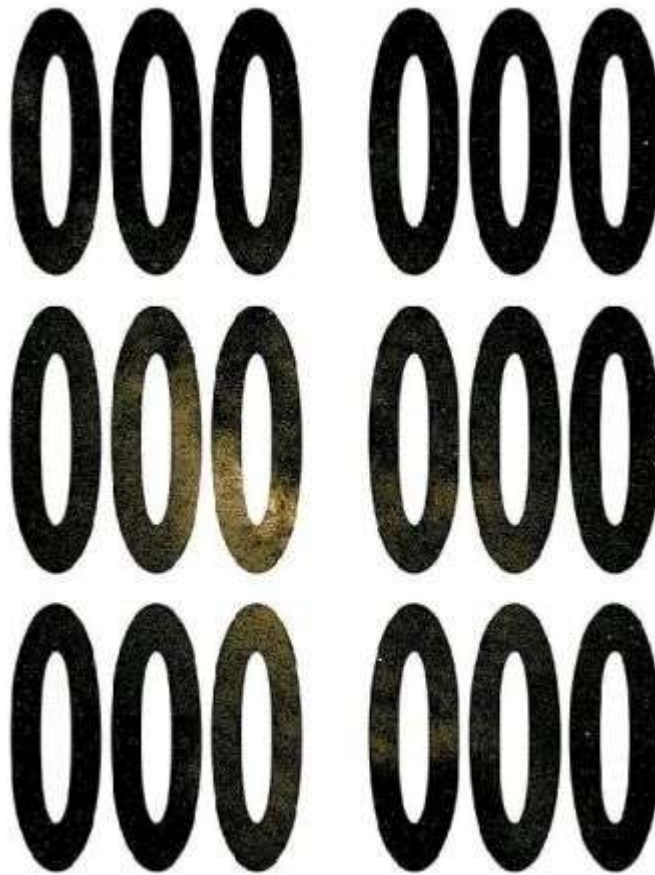
Cuando un planeta se coloca entre nosotros y su estrella, la estrella pierde una cantidad mínima de su brillo, y a veces nuestros instrumentos son suficientemente sensibles para detectarlo. Hasta ahora se han descubierto así 110 planetas. Y hay más métodos, que han localizado otros 35 planetas. Algunos planetas han sido detectados por más de un sistema, y el total hasta ahora es de 519 planetas orbitando estrellas de nuestra galaxia aparte del sol.

10 000

En nuestra galaxia, la gran mayoría de las estrellas en las que hemos buscado planetas han resultado tenerlos. Por tanto, si asumimos que nuestra galaxia es típica, podríamos deducir que la mayoría de las estrellas del universo tienen planetas en órbita. El número de estrellas de nuestra galaxia es de casi 100 000 millones, y el número de galaxias en el universo aproximadamente el mismo. Eso significa más o menos 10 000 trillones de estrellas en total.

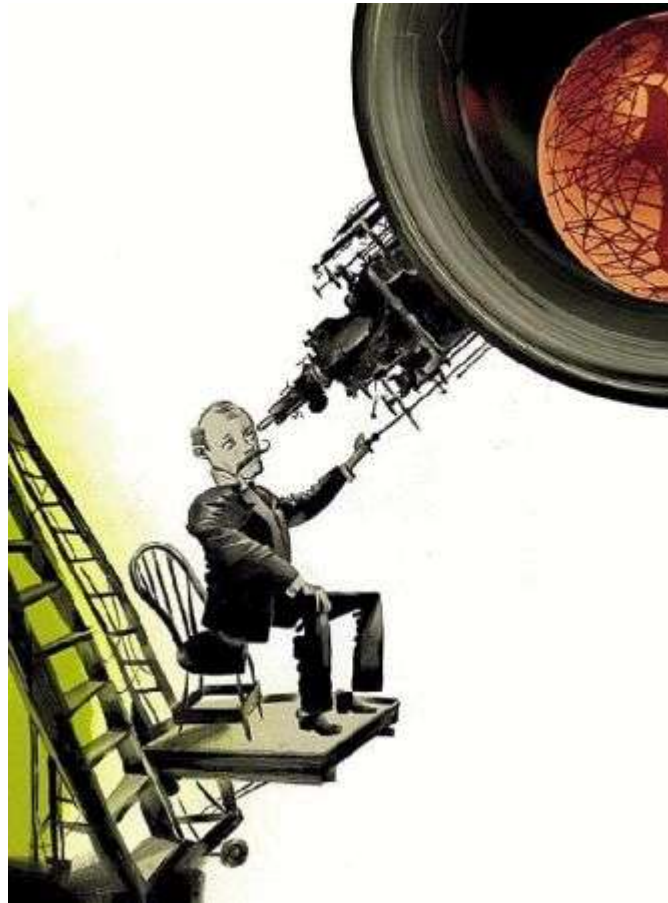
Cerca del 10 por ciento de las estrellas conocidas están consideradas por los astrónomos como «tipo sol». Las estrellas que son muy distintas del sol, aunque tengan planetas, no pueden proporcionar vida a esos planetas por varios motivos: por ejemplo, las estrellas mucho mayores que el sol no suelen durar lo suficiente antes de explotar. Pero aunque nos limitáramos a los planetas que orbitan estrellas tipo sol, estaríamos manejando cifras de miles de billones de planetas, y quizá nos quedemos cortos.

Vale, pero ¿cuántos de esos planetas que orbitan «el tipo adecuado de estrella» tienen posibilidades de albergar vida? La gran mayoría de los planetas extrasolares descubiertos son de tipo Júpiter. Eso significa que son «gigantes de gas», compuestos principalmente por gas a alta presión. Esto no resulta sorprendente, porque nuestros métodos de detección de planetas no suelen localizar planetas de menor tamaño que Júpiter. Y los de tipo Júpiter —gigantes de gas— no están preparados para albergar vida. Como es lógico, eso no significa que la vida que conocemos sea el único tipo de vida posible. Podría haber vida incluso en Júpiter, aunque lo dudo. No sabemos qué proporción de esos miles de billones de planetas serán rocosos como la Tierra, frente a los gigantes gaseosos como Júpiter. Pero aunque la proporción sea muy pequeña, el número absoluto seguirá siendo muy alto porque el total es inmenso.



§. A la búsqueda de zonas de habitabilidad (zonas Goldilocks)

La vida, tal como la conocemos, depende del agua. Una vez más, deberíamos evitar fijar nuestra atención en la vida tal como la conocemos, pero por ahora los exobiólogos (científicos en busca de vida extraterrestre) consideran el agua imprescindible, tanto que gran parte de sus esfuerzos se centran en escrutar los cielos en su busca. El agua es mucho más fácil de detectar que la vida en sí. Que localicemos agua no significará que vayamos a encontrar vida, pero es un paso en la dirección adecuada.



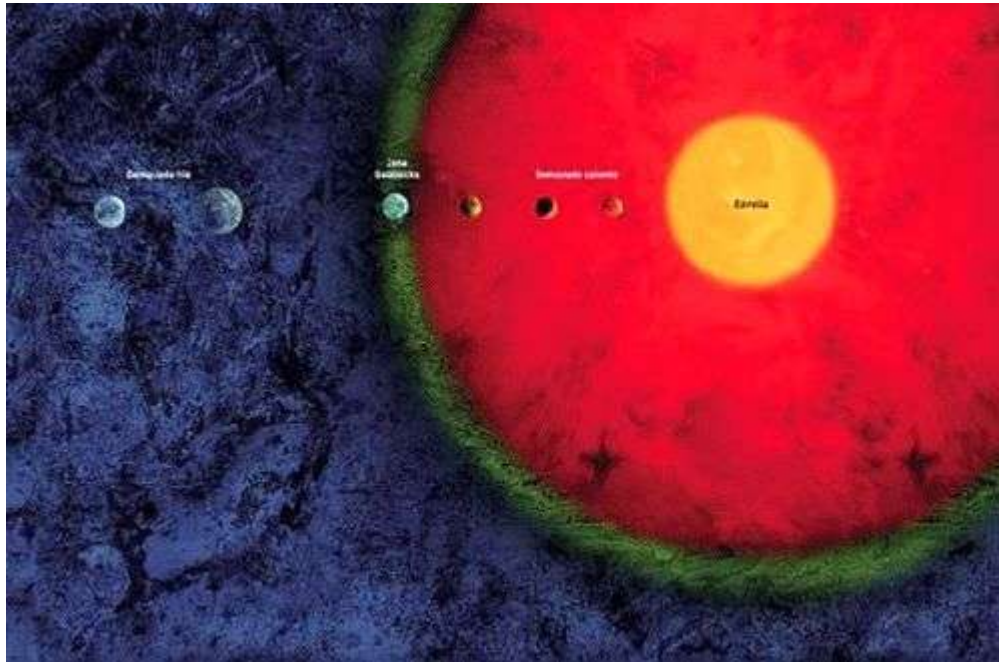
Para que exista vida como la que conocemos, al menos parte del agua tiene que estar en forma líquida. El hielo no sirve, ni el vapor. Los análisis más detallados de Marte muestran pruebas de agua líquida en el pasado, y quizá actualmente. Y muchos otros planetas tienen al menos algo de agua, aunque no esté en su forma líquida. Europa, una de las lunas de Júpiter, está cubierta de hielo, y no es descabellado pensar que bajo ese hielo haya un mar de agua líquida. En otro tiempo se pensó que Marte era el mejor candidato del sistema solar para albergar vida extraterrestre, y un famoso astrónomo llamado Percival Lowell llegó a trazar lo que él consideraba eran canales que se cruzaban en su superficie.

Distintas naves espaciales han tomado nuevas fotografías detalladas de Marte, e incluso han aterrizado en su superficie, y los canales han resultado ser producto de la imaginación de Lowell. A día de hoy Europa ha sustituido a Marte como primer lugar candidato para albergar la posible vida extraterrestre en nuestro sistema solar, aunque la mayoría de los científicos creen que debemos buscar aún más lejos. Las pruebas sugieren que el agua no es algo extraño en los planetas extrasolares.



¿Y qué pasa con la temperatura? ¿Cómo de ajustada debe estar la temperatura de un planeta para poder albergar vida? Los científicos

hablan de algo llamado la «zona Goldilocks» (nombre original de la protagonista de Ricitos de oro y los tres osos): «ni fría ni caliente» (como la papilla del bebé oso) entre los extremos demasiado caliente (la papilla del padre oso) y demasiado frío (la papilla de la madre oso). La órbita de la Tierra está «ni fría ni caliente» para la vida: no demasiado cerca del sol, donde el agua herviría, ni demasiado lejos, donde el agua se congelaría y no habría luz solar suficiente para alimentar a las plantas. Aunque hay decenas de miles de billones de planetas ahí fuera, solo una pequeña minoría estará justo en la zona adecuada en cuanto a temperatura y distancia a su estrella. Hace poco (en mayo de 2011) se descubrió un «planeta Goldilock» orbitando una estrella llamada Gliese 581, que está a unos veinte años luz de nosotros (no muy lejos para ser una estrella, pero lejísimos para los estándares humanos). La estrella es una «enana roja», mucho más pequeña que el sol, y su zona de habitabilidad (la podemos llamar así en español) está, por tanto, más cerca. Tiene al menos seis planetas, llamados Gliese 581e, b, c, g, d y f. Varios de ellos son pequeños planetas rocosos como la Tierra, y uno en particular, Gliese 581d, parece estar en la zona de habitabilidad para poder contener agua líquida. No se sabe si en realidad hay agua en Gliese 581d, pero si la hay es probable que esté en estado líquido. Nadie ha dicho que haya vida en Gliese 581d, pero el hecho es que se ha descubierto poco después de empezar a buscar, y eso nos hace pensar que es probable que haya muchos planetas de este tipo ahí fuera.



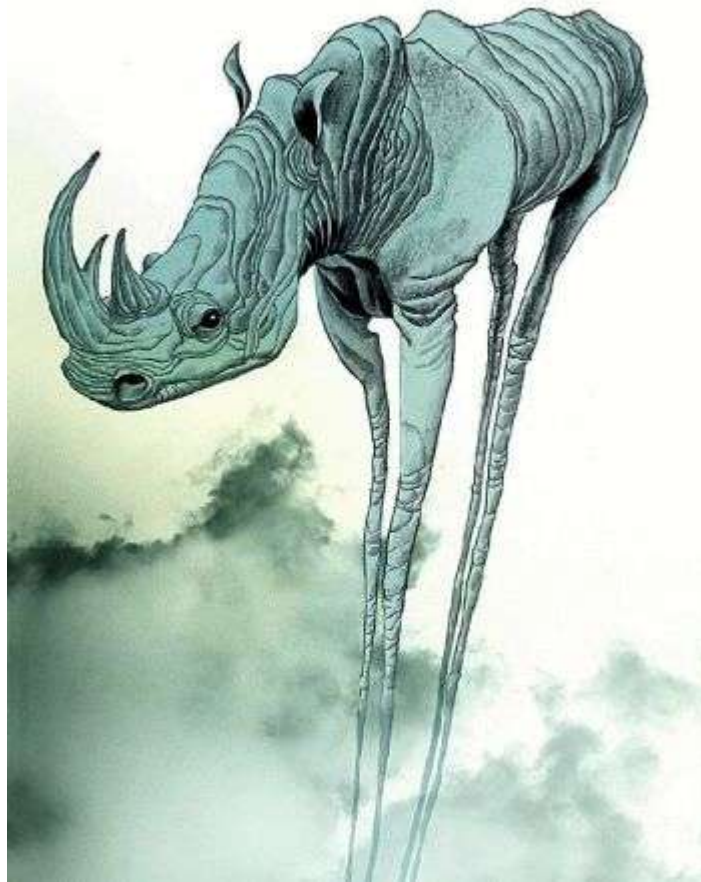
¿Y el tamaño de los planetas? ¿Existe un tamaño de habitabilidad, no demasiado grande ni demasiado pequeño? El tamaño de un planeta —su masa, para ser más exactos— tiene un gran impacto sobre la vida debido a la gravedad. Un planeta con el mismo diámetro que la Tierra, pero hecho principalmente de oro sólido tendría una masa tres veces mayor. La atracción gravitatoria de ese planeta sería tres veces más fuerte que la que soportamos en la Tierra. Todo pesaría el triple, y eso incluye también a los cuerpos vivos. Colocar un pie delante del otro sería un trabajo costoso. Un animal del tamaño de un ratón necesitaría tener huesos muy fuertes para soportar su cuerpo, y se movería con la torpeza de un rinoceronte en miniatura, mientras que un animal del tamaño de un rinoceronte podría ahogarse bajo su propio peso.

Igual que el oro es más pesado que el hierro, el níquel y otros materiales que componen la Tierra, el carbón es más ligero. Un planeta del tamaño de la Tierra, pero compuesto principalmente por carbón, tendría una gravedad cinco veces menor que la nuestra. Un animal como el rinoceronte podría caminar sobre patas finas y alargadas como las de una araña. Y animales mucho mayores que los más grandes de los dinosaurios podrían evolucionar felizmente, si el resto de condiciones en el planeta fueran las apropiadas. La gravedad de la luna es aproximadamente una sexta parte de la nuestra. Por eso los astronautas que pisaron la luna se movían con ese curioso balanceo, algo casi cómico con esos enormes trajes espaciales. Un animal que evolucionara en un planeta con ese tipo de gravedad presentaría una estructura muy distinta, producto de la selección natural.

Si la atracción gravitatoria fuera muy grande, como ocurre en una estrella de neutrones, la vida sería imposible. Una estrella de neutrones es un tipo de estrella que se ha colapsado. Tal como aprendimos en el Capítulo 4, la materia suele estar compuesta en su mayor parte por espacio vacío. La distancia entre los núcleos de los átomos es enorme comparada con el propio tamaño de los núcleos. Pero en una estrella de neutrones, «colapsada» significa que todo el espacio vacío ha desaparecido.



Una estrella de neutrones puede tener tanta masa como el sol, pero en un tamaño tan pequeño como una ciudad, por lo que su fuerza gravitatoria es aplastantemente grande. Si te dejaran caer en una estrella de neutrones, pesarías 100 000 millones de veces lo que pesas en la Tierra. Te aplastarías. No podrías moverte. Un planeta solo necesitaría tener una mínima fracción de la fuerza gravitatoria de una estrella de neutrones para salir disparado de la zona de habitabilidad, y no solo para el tipo de vida que conocemos, sino probablemente para cualquiera que pudiéramos imaginar.



§. Alguien te mira

Si hay criaturas vivas en otros planetas, ¿qué aspecto tendrán? Existe una creencia extendida muy cómoda para los creadores de ciencia ficción de imaginarlos con aspecto humano, salvo alguna que otra modificación menor, como las cabezas más grandes o algún ojo extra, o incluso alas. Aunque no sean humanoides, la mayoría de los alienígenas de ficción son versiones modificadas de criaturas que nos son familiares, como arañas, pulpos o champiñones. Pero quizá no sea solo una cuestión de comodidad ni de falta de imaginación. Tal vez haya motivos razonables para suponer que los alienígenas, si existieran (y yo creo que sí), podrían

no ser muy distintos de nosotros. Los alienígenas de ficción han sido descritos como monstruos con ojos de insecto, así que tomaré los ojos como base para mi ejemplo. Podría haber elegido las patas, las orejas o las alas (o incluso preguntarme por qué los animales no tienen ruedas). Pero me centraré en los ojos y trataré de demostrar que no es cuestión de pereza pensar que los alienígenas, si existieran, podrían perfectamente tener ojos.



Los ojos son algo magnífico para quienes los tienen, y eso va a ser cierto en la mayoría de los planetas. La luz viaja, a efectos prácticos, en línea recta. Allí donde haya luz disponible, como en las cercanías de una estrella, es técnicamente sencillo usar la luz para encontrar nuestro camino, para navegar, para localizar objetos. Es muy

probable que cualquier planeta que contenga vida se encuentre cerca de una estrella, porque las estrellas son la fuente más obvia de la energía que necesita la vida. Por tanto, es bastante posible que allí donde haya vida también haya luz; y donde haya luz es razonable pensar que se hayan desarrollado los ojos, porque resultan muy útiles. No sería extraño que los ojos hubieran evolucionado en nuestro planeta docenas de veces de forma independiente.

Solo hay unas pocas formas de crear un ojo, y yo creo que todas ellas han evolucionado en alguna parte de nuestro reino animal. Tenemos el ojo cámara (arriba a la izquierda), que como la propia cámara es una habitación oscura con un pequeño agujero al frente que permite la entrada de la luz a través de una lente, que enfoca una imagen invertida sobre una pantalla —la «retina»— al fondo. Incluso la lente no es imprescindible. Un simple agujero hará las veces si es lo suficientemente pequeño, pero eso significa que entrará muy poca luz, y, por tanto, la imagen será muy pequeña, a menos que el planeta reciba mucha más luz de su estrella de la que recibimos nosotros del sol. Sin duda, esto es posible, en cuyo caso los alienígenas podrían tener ojos diminutos como agujeros de alfiler. Los ojos humanos (en la página anterior, a la derecha) tienen una lente para incrementar la cantidad de luz que llega a la retina. La retina está tapizada con células sensibles a la luz que se comunican con el cerebro a través de los nervios. Todos los vertebrados tienen este tipo de ojo, y el ojo cámara ha evolucionado de forma independiente en muchos otros tipos de animales,

incluyendo los pulpos. Y, por supuesto, también ha sido inventado por diseñadores humanos.

Las arañas saltarinas (izquierda, abajo) tienen un extraño tipo de ojo escaneador. Es una especie de ojo cámara, pero la retina, en lugar de estar forrada de células fotosensibles, es una banda fina. La retina banda está conectada a unos músculos que la mueven, de forma que «escanea» la escena que está delante de la araña. Resulta interesante que actúe como una cámara de televisión, que solo tiene un canal para enviar toda la imagen completa. Escanea a lo largo y ancho línea a línea, pero lo hace tan rápido que lo que recibe parece una única imagen. El ojo de la araña saltarina no escanea tan deprisa, por lo que tienden a centrarse en las partes más «interesantes» de la escena, como las moscas, pero el principio es el mismo.

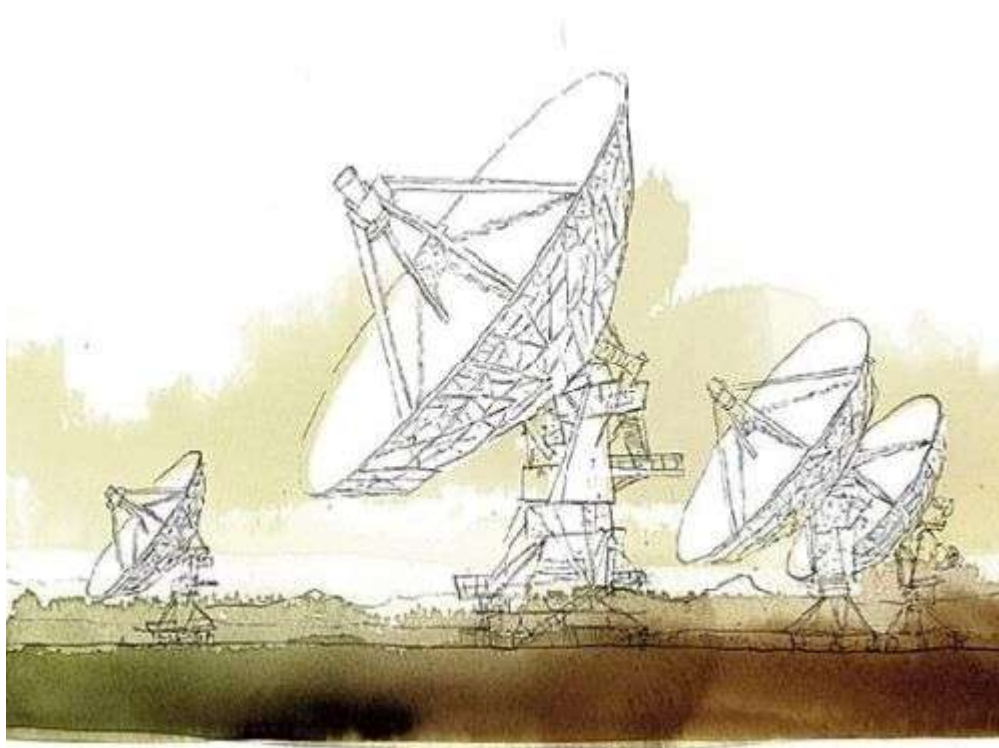
También tenemos el ojo compuesto (derecha, abajo), que encontramos en algunos insectos, gambas y otros grupos de animales. Un ojo compuesto está formado por cientos de tubos que salen del centro de una semiesfera, cada uno de ellos apuntando a una dirección. Cada tubo termina en una pequeña lente, que podríamos imaginar como un ojo en miniatura. Pero las lentes no componen una imagen útil: solo concentran la luz en el tubo. Como cada tubo acepta luz de una dirección distinta, el cerebro puede combinar toda la información para reconstruir una imagen: una imagen en bruto, pero suficiente para que las libélulas, por ejemplo, capturen presas móviles al vuelo.



Nuestros mayores telescopios utilizan un espejo curvado en lugar de una lente, y este principio también está presente en los ojos de los animales, en concreto en las vieiras. El ojo de la vieira utiliza un espejo curvado para enfocar una imagen sobre la retina, que está delante del espejo. Esto hace que parte de la luz se pierda, igual que ocurre en los telescopios, pero no importa demasiado porque la mayoría de la luz le llega del espejo.

No hay más formas en las que los científicos puedan imaginar un ojo, y todas ellas han evolucionado en los animales de este planeta, en la mayoría más de una vez. Apostaría que si hay alguna criatura en otros planetas que puedan ver, utilizarán ojos de un tipo similar a estos.

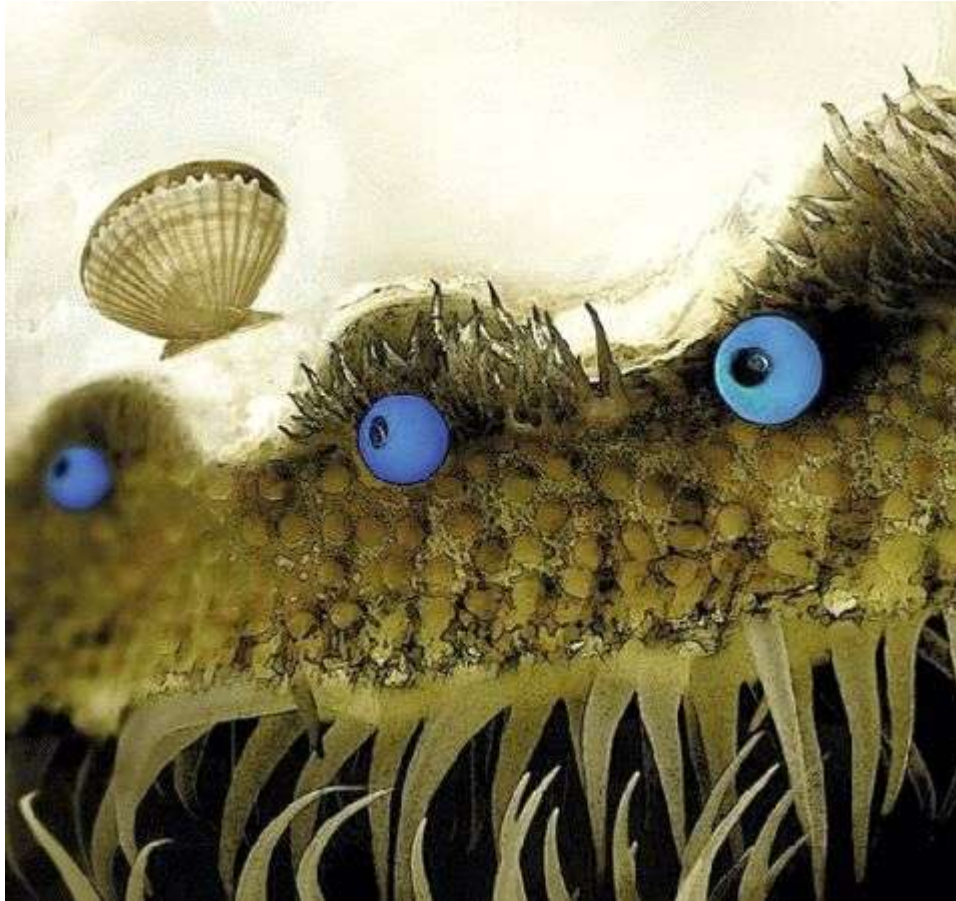
Vamos a ejercitar la imaginación un poco más. En el planeta de nuestros hipotéticos alienígenas, la energía irradiada por su estrella probablemente abarcará como poco el rango que va desde las ondas de radio hasta los rayos X. ¿Por qué tendrían que limitarse los alienígenas a la estrecha banda de frecuencias que llamamos «luz»? ¿Es posible que tengan ojos de radio? ¿Ojos de rayos X?



Una buena imagen se basa en la alta *resolución*. ¿Qué significa esto? Cuanto mayor sea la resolución, más cerca estará un punto del siguiente del que pueda distinguirse. No es extraño, por tanto, que las longitudes de onda más largas generen peor resolución. Las

longitudes de onda de la luz se miden en fracciones de menos de un milímetro, y proporcionan una excelente resolución, mientras que las longitudes de onda de radio se miden en metros. Por eso, las ondas de radio no serían adecuadas para formar imágenes, aunque sí muy buenas para las comunicaciones porque pueden ser *moduladas*. Moduladas significa cambiadas muy rápidamente, de forma controlada. Hasta donde yo sé, no hay criaturas en nuestro planeta que hayan desarrollado un sistema natural para transmitir, modular o recibir ondas de radio: eso tuvo que esperar a la tecnología humana. Pero quizá existan alienígenas en otros planetas que hayan desarrollado las comunicaciones por radio de forma natural.

¿Y las ondas más cortas que las de la luz, como, por ejemplo, los rayos X? Los rayos X son difíciles de enfocar, por eso nuestras máquinas de rayos X generan sombras en lugar de imágenes reales, pero no es imposible que alguna forma de vida en otro planeta utilice visión de rayos X.



La visión de cualquier tipo depende de rayos que viajan en línea recta, o al menos predecible. Por eso no es bueno que se dispersen en ningún momento, como ocurre con los rayos de luz en la niebla. En un planeta permanentemente cubierto por una niebla densa no podrían evolucionar los ojos. En su lugar, podría prosperar el uso de algún tipo de sistema de eco, como el «sonar» que utilizan los murciélagos, las ballenas y los submarinos. Los delfines de río son magníficos en el uso del sonar porque nadan en aguas muy sucias, que es el equivalente acuático de la niebla. El sonar ha evolucionado al menos cuatro veces en animales de nuestro planeta (murciélagos, ballenas y dos tipos independientes de aves cavernícolas). No sería

extraño encontrar sonares en algún otro planeta, sobre todo en aquellos cubiertos de niebla.

Si los alienígenas han desarrollado órganos que puedan manejar ondas de radio para comunicarse, también pueden haber desarrollado un radar auténtico para orientarse, y el radar sí funciona en la niebla. En nuestro planeta hay peces que han desarrollado la capacidad de orientarse mediante distorsiones en un campo eléctrico que ellos mismos generan. De hecho, este truco ha evolucionado dos veces de forma independiente, en un grupo de peces africanos y en otro completamente separado de peces en Sudamérica.

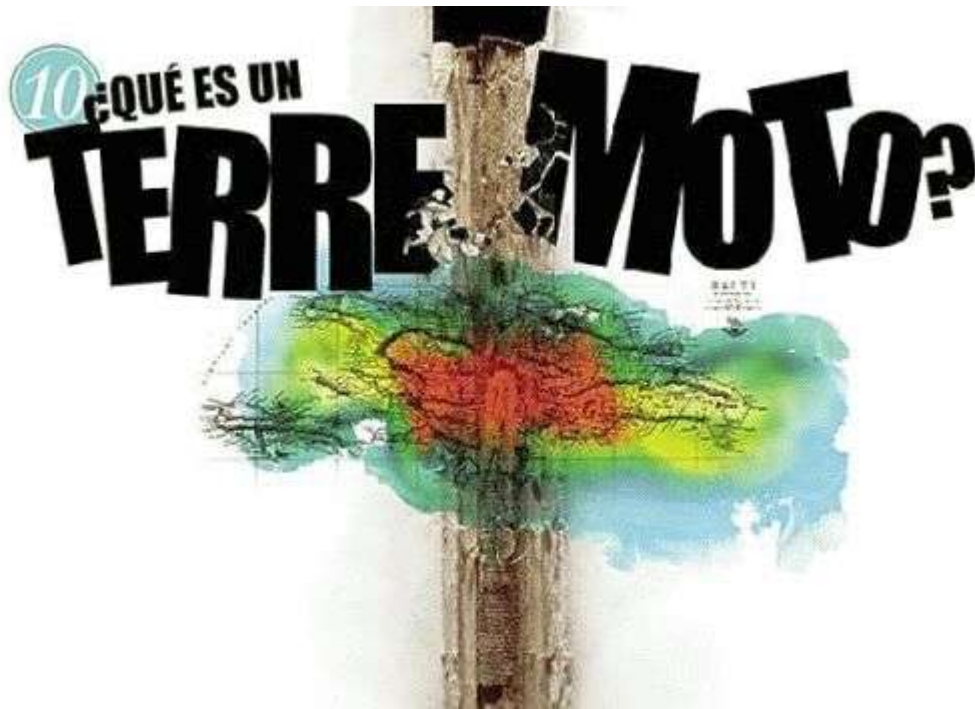


Los ornitorrincos de pico de pato tienen sensores eléctricos en el pico que detectan alteraciones eléctricas en el agua provocadas por la actividad muscular de sus presas. Es fácil imaginar una forma de vida alienígena que haya desarrollado una sensibilidad similar a la de estos peces y ornitorrincos, pero a un nivel mucho mayor.

Este capítulo es algo diferente a los demás de este libro, porque se centra en cosas que no conocemos, en lugar de ocuparse de las que sí conocemos. Pero aunque aún no hayamos descubierto vida en otros planetas (y de hecho puede que nunca lo hagamos), yo espero que te hayas hecho una idea de lo mucho que la ciencia puede contarnos sobre el universo. Nuestra búsqueda de vida en otras partes no es caprichosa ni aleatoria: nuestros conocimientos de física, química y biología nos permiten buscar la información adecuada sobre estrellas y planetas muy lejanos, y también identificar planetas que son al menos posibles candidatos a albergar vida. Aún queda muchísimo por descubrir, y no es probable que lleguemos a descifrar todos los secretos de un universo tan vasto como el nuestro: pero, armados con la ciencia, al menos podemos plantearnos cuestiones razonables sobre él y reconocer las respuestas creíbles cuando las encontremos. No necesitamos inventar historias imposibles: ya tenemos la gran satisfacción y el entusiasmo de la investigación científica real y los descubrimientos reales para alimentar nuestra imaginación. Y al final eso es mucho más apasionante que la fantasía.

Capítulo 10

¿Qué es un terremoto?



Contenido:

- §. *¿Qué ocurre cuando golpea un terremoto?*
- §. *Mitos sobre terremotos*
- §. *Cómo se mueve la Tierra*
- §. *Las principales placas tectónicas de la Tierra*
- §. *La expansión del fondo marino*
- §. *Alimentado por calor*

Imagina que estás sentado tranquilamente en tu habitación, quizá leyendo un libro o viendo la televisión o jugando con la consola. De pronto, escuchas un ruido aterrador y toda la habitación comienza a temblar. La luz parpadea en el techo, los adornos se caen de las

estanterías, los muebles acaban en el suelo y tú te caes de la silla. Después de dos minutos más o menos vuelve la calma, y el silencio lo invade todo, únicamente roto por el llanto de un niño asustado y el ladrido de un perro. Te levantas y piensas lo afortunado que eres porque tu casa no se te ha caído encima. En un terremoto fuerte podría haber ocurrido.

Mientras empezaba a escribir este libro, la isla caribeña de Haití fue golpeada por un devastador terremoto y su capital, Puerto Príncipe, se destruyó casi por completo. 250.000 personas murieron y muchas otras, incluyendo a niños huérfanos, aún deambulan por las calles, sin hogar o viviendo en campamentos temporales.

Más tarde, mientras revisaba el libro, otro terremoto aún mayor sacudió la costa noreste de Japón. Provocó una ola gigantesca —un tsunami— que arrastró una destrucción inimaginable a su paso, arrasando pueblos enteros, matando a miles de personas y dejando a millones sin hogar, además de provocar explosiones muy peligrosas en una central nuclear ya dañada por el terremoto.

Los terremotos y los tsunamis que causan son habituales en Japón (de hecho, la palabra tsunami es de origen japonés), pero el país nunca había experimentado uno como este en toda su historia reciente. El primer ministro lo describió como la peor catástrofe desde la Segunda Guerra Mundial, cuando las bombas atómicas destruyeron las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki. De hecho, los terremotos son habituales en todo el borde del océano Pacífico; la ciudad neozelandesa de Christchurch sufrió grandes daños y pérdidas de vidas humanas en un terremoto justo un mes

antes del que sacudió Japón. A esta zona se la denomina también «anillo de fuego», y abarca gran parte de California y de los estados del oeste de Estados Unidos, donde se produjo un famoso terremoto en la ciudad de San Francisco, en 1906. La enorme ciudad de Los Ángeles también está en peligro.

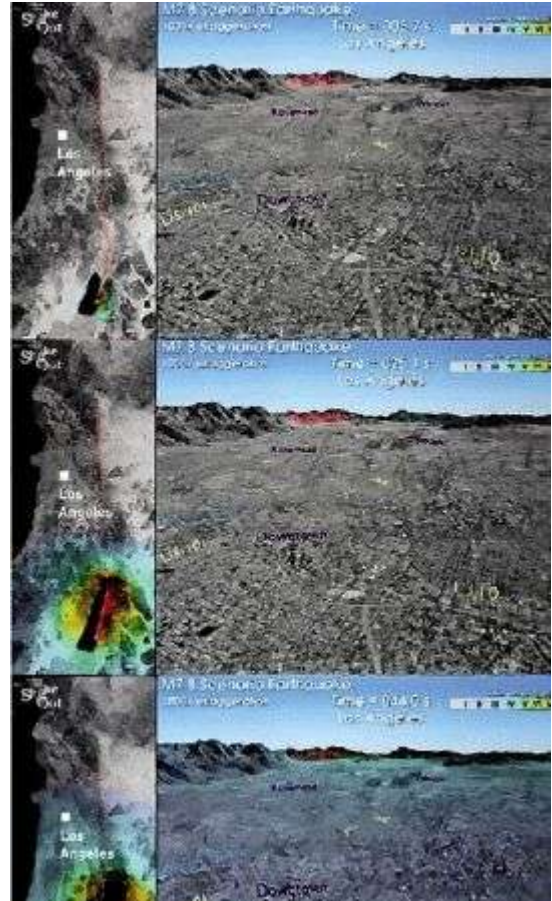
§. ¿Qué ocurre cuando golpea un terremoto?

Puedes hacerte una idea de lo que sería un gran terremoto cerca de Los Ángeles gracias a una simulación por ordenador. Esta simulación es un tipo de previsión visual de algo que aún no ha ocurrido, pero podría, basada en ciencia realista, una especie de película «si ocurriera» generada por el ordenador. La película nos muestra un suceso que en realidad no ha ocurrido para que puedas ver cómo sería si ocurriera —y probablemente algún día ocurra—.

Las imágenes que se muestran aquí son fotogramas de dos secuencias de la simulación. La estrecha banda de la izquierda en ambas páginas presenta el área desde arriba, de sur a norte, con la ciudad de Los Ángeles marcada, como si fuera un mapa. Las manchas roja y amarilla en la parte inferior de las dos primeras imágenes señalan dónde comienza el terremoto. Se denomina «epicentro» del terremoto. La delgada línea roja que asciende por el mapa es la falla de San Andrés, de la que hablaremos dentro de un momento. Por ahora, piensa simplemente en ello como en una grieta en el suelo, una línea de debilidad en la superficie de la Tierra.

Las imágenes más anchas de la parte derecha no son un mapa, sino una vista del terreno tal como se vería desde un avión, mirando en la dirección opuesta, hacia el sudeste desde Los Ángeles, hacia las montañas y el epicentro del terremoto (marcado también en rojo).

Si reproduces la simulación en tu ordenador podrás ver algo realmente aterrador. En el mapa verás el centro rojo del terremoto desplazándose hacia el norte por la falla de San Andrés, con olas de color azul, verde y amarillo que representan movimientos de tierra de distintas intensidades ensanchándose hacia



ambos lados. Después de unos 80 segundos, el centro rojo alcanza la zona opuesta de Los Ángeles, y las olas amarilla y verde ya han sobrepasado la ciudad. Después de otros 10 segundos, las olas rojas han alcanzado el centro de Los Ángeles. En ese momento puedes mirar la imagen de la derecha, la «vista desde el avión», para comprobar qué está ocurriendo ahí abajo, y es extraordinariamente revelador. Todo el suelo se está comportando como si fuera líquido. Parece el mar,

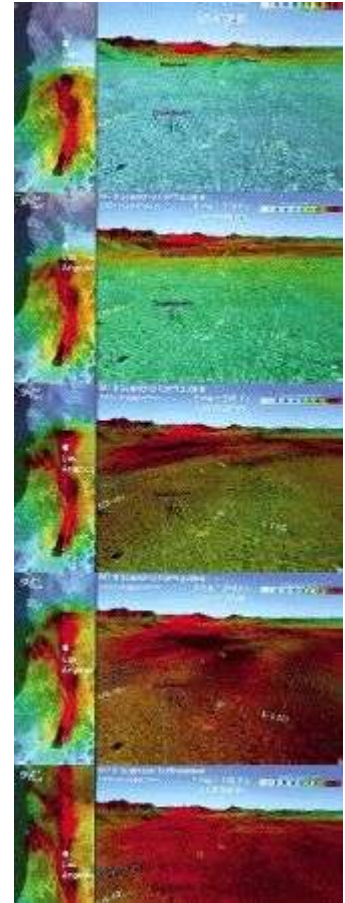
Si estuvieras abajo, en el suelo, no verías las olas porque estarías demasiado cerca de ellas y serías demasiado pequeño en

comparación con las mismas. Tan solo sentirías cómo el suelo se mueve y se sacude bajo tus pies, tal como he descrito en la escena que abría este capítulo. Si la sacudida llegara a ser suficientemente fuerte, tu casa podría venirse abajo.

Los colores de la simulación se denominan «colores falsos», y los utiliza el ordenador simplemente como una forma de transmitirnos la fuerza del terremoto en distintos lugares. El azul significa un movimiento débil, el rojo significa un movimiento fuerte, y entre ellos el verde y el amarillo. Los colores nos ayudan a visualizar las olas de movimiento por la superficie de la Tierra, y a ver lo deprisa que se mueven. El centro «rojo» del terremoto asciende por la falla de San Andrés a unos 8000 kilómetros por hora.

Como ya he dicho, esto es solo una simulación por ordenador, no una película de un terremoto real. El ordenador ha exagerado la cantidad de movimiento, por lo que parece miles de veces peor de lo que sería en la vida real. Pero aun así, sería aterrador.

Dentro de un momento explicaré lo que es realmente un terremoto, y lo que es una línea de falla como la de San Andrés y otras similares en distintas partes del planeta. Pero antes veamos algunos mitos.



Si dispones de acceso a Internet, puedes ver la película aquí:
www.booksatransworld.co.uk/dawkins-earthquake

§. Mitos sobre terremotos

Empezaremos con un par de mitos que podrían haber surgido a partir de terremotos concretos, terremotos que realmente ocurrieron en algún momento de la Historia.

Una leyenda judía nos habla de dos ciudades, Sodoma y Gomorra, que fueron destruidas por el dios hebreo porque la gente que vivía en ellas era realmente perversa.

La única buena persona en ambas ciudades era un hombre llamado Lot.

El dios envió dos ángeles para avisar a Lot de que huyera de Sodoma antes de su destrucción.

Lot y su familia se dirigieron a las montañas, justo antes de que el dios lanzara una lluvia de fuego sobre la ciudad de Sodoma. Recibieron órdenes estrictas de no mirar atrás, pero lamentablemente, la mujer de Lot desobedeció al dios. Se volvió para echar un último vistazo. El dios la convirtió en una estatua de sal, que algunas personas dicen se puede ver a día de hoy.



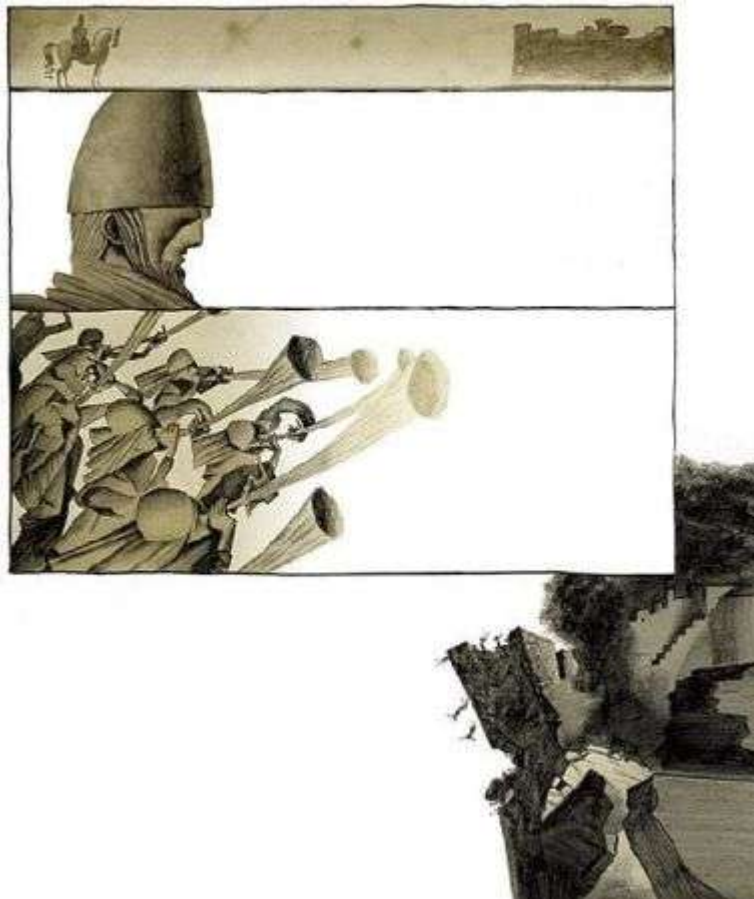
Algunos arqueólogos afirman haber encontrado pruebas de que un gran terremoto sacudió la región en la que se supone que estaban Sodoma y Gomorra hace unos 4000 años.

Si eso es cierto, la leyenda de su destrucción podría entrar en nuestra lista de mitos sobre terremotos.

Otro mito bíblico que podría haberse iniciado con un terremoto concreto es la historia de cómo se destruyó Jericó. Jericó, que estaba al norte del mar Muerto, en Israel, es una de las ciudades más antiguas del mundo. Lleva sufriendo terremotos desde siempre y hasta hace bien poco: en 1927 estuvo muy cerca del centro de un

gran terremoto que sacudió toda la región y mató a cientos de personas en Jerusalén, a unos 25 kilómetros de allí.

La antigua historia hebrea habla de un héroe legendario llamado Josué, que quería conquistar al pueblo que vivía en Jericó desde hacía miles de años.



Jericó estaba rodeada por altas y sólidas murallas, y la gente se encerró dentro para evitar ser atacada. Los soldados de Josué no podían atravesar las murallas, así que este les pidió a sus sacerdotes que hicieran sonar sus cuernos de carnero y a todos los demás que gritaran todo lo que pudieran.

El ruido fue tan ensordecedor que las murallas se resquebrajaron y se vinieron abajo. Los soldados de Josué entraron entonces y mataron a toda la población de la ciudad, incluyendo mujeres y niños, e incluso vacas, ovejas y burros.

También lo quemaron todo, salvo la plata y el oro, que le ofrecieron a su dios, tal como este les había ordenado. Según lo cuenta el mito, fue una buena acción: el dios del pueblo de Josué quería que fuera así para que su gente pudiera ocupar el territorio que previamente había pertenecido a Jericó.

Jericó está en una zona propensa a los terremotos, por lo que hay quien sugiere que la leyenda de Josué y Jericó podría haber comenzado con un antiguo terremoto, que sacudió la ciudad de forma tan violenta que sus murallas se derrumbaron. Es fácil imaginar cómo un recuerdo popular tan antiguo de un terremoto desastroso puede llegar a exagerarse y a distorsionarse, mientras pasa de boca en boca, de generación en generación, por gente que no podía leerlo ni escribirlo, hasta que llegó a convertirse en la leyenda del gran héroe tribal Josué y de sus ruidosas trompetas de cuerno de carnero.

Los dos mitos que he descrito podrían haber comenzado con terremotos concretos de la historia. Hay muchos otros mitos, surgidos por todo el mundo, que han nacido del intento de la gente por entender qué son, en general, los terremotos.

Japón sufre muchos terremotos, por lo que no es extraño que allí hayan surgido muchos e interesantes mitos al respecto.



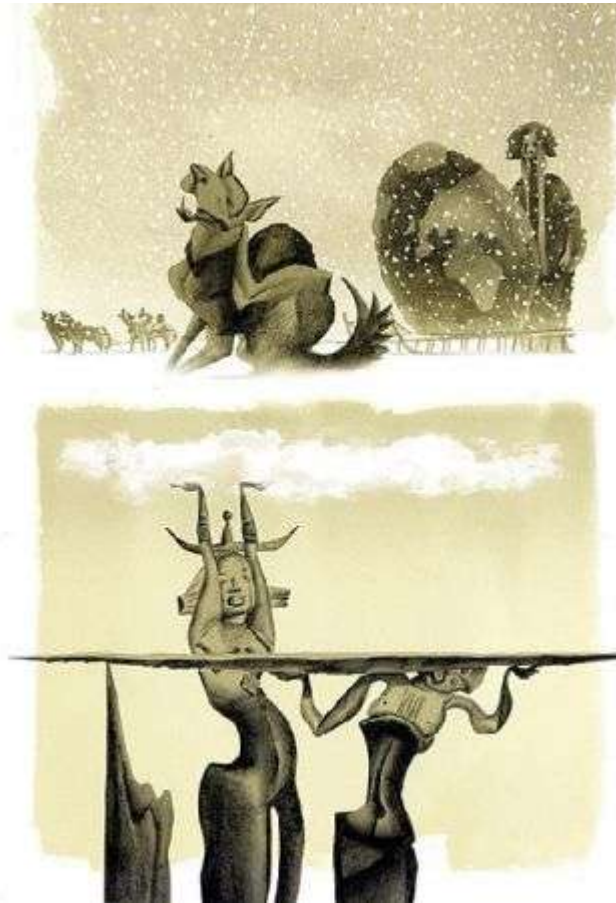
Según uno de ellos, la Tierra flotaba en la espalda de un gigantesco pez llamado Namazu. Cuando Namazu movía su cola, la Tierra se sacudía.

Muchos miles de kilómetros al sur, los maoríes de Nueva Zelanda, que llegaron en canoa y se establecieron allí varios siglos antes de la llegada de los marinos europeos, creían que la madre Tierra estaba embarazada de su hijo, el dios Ru. Cada vez que el bebé Ru se movía dentro del vientre de su madre, se producía un terremoto.



De vuelta en el norte, algunas tribus de Siberia creían que la Tierra estaba sentada en un trineo tirado por perros y conducido por un dios llamado Tull. Los pobres perros tenían pulgas, y cuando se rascaban se producía un terremoto.

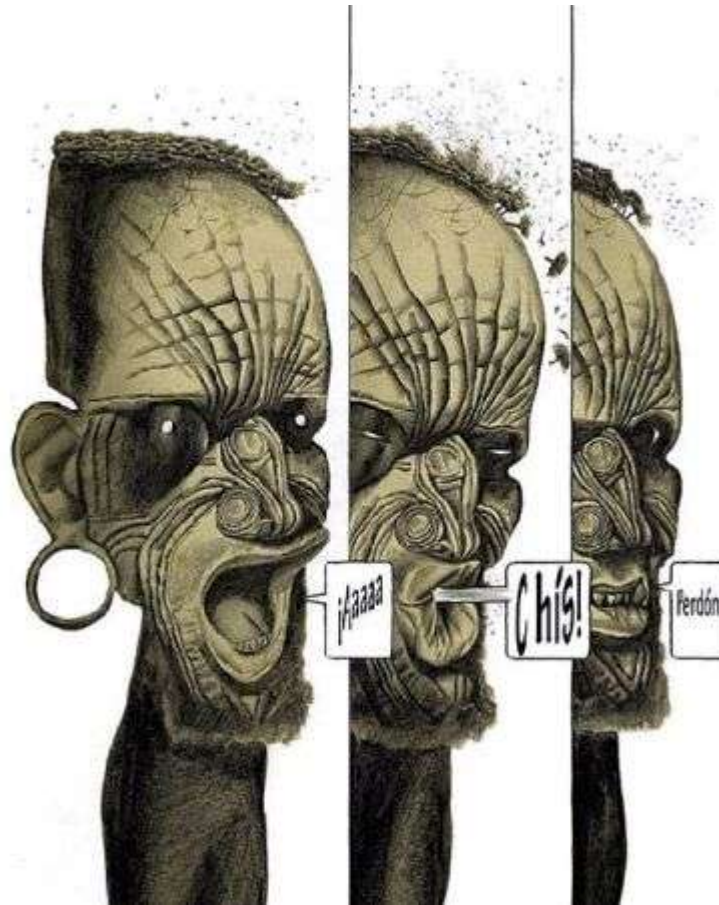
En una leyenda de África occidental, la Tierra es un disco sujetado por una gran montaña en un extremo y un gigante monstruoso en el otro, cuya esposa sujeta el cielo. Cada vez que el gigante y su esposa se abrazan, como podrás imaginar, la Tierra se mueve.



Otras tribus de África occidental creían que vivían en la cima de una cabeza gigantesca. Los bosques eran el cabello y la gente y los animales eran como pulgas que se movían por esa cabeza.

Los terremotos eran lo que ocurría cuando el gigante estornudaba. Al menos eso es lo que ellos creían, aunque dudo de que realmente lo creyeran.

A día de hoy, sabemos lo que son en realidad los terremotos, y ya es el momento de olvidarnos de los mitos y mirar a la realidad.



QUÉ SON REALMENTE LOS TERREMOTOS

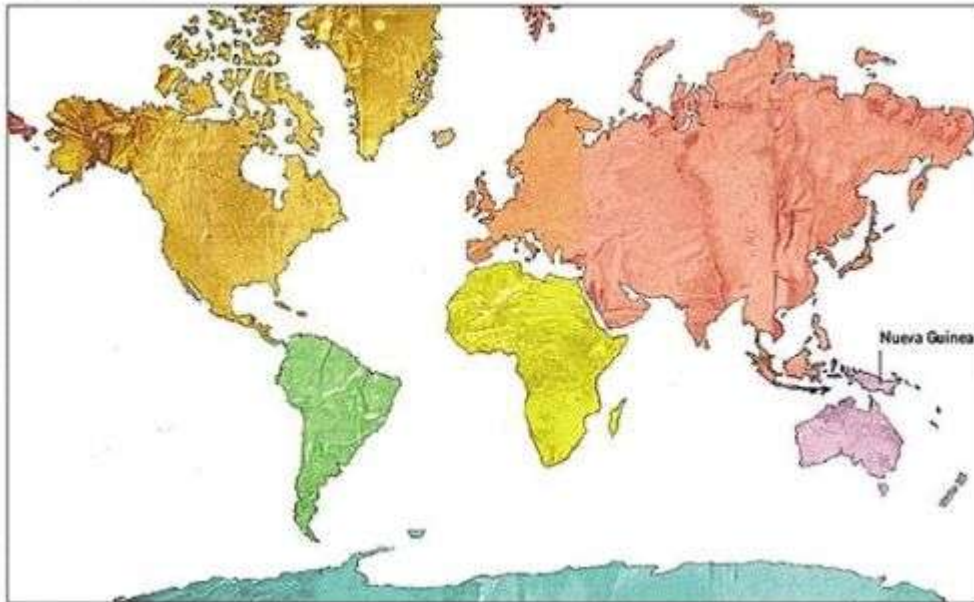


En primer lugar, necesitamos escuchar la extraordinaria historia de la tectónica de placas.

Todo el mundo sabe qué aspecto tiene un mapamundi. Sabemos la forma que tienen África o Sudamérica, y sabemos que el ancho

océano Atlántico las separa. Todos somos capaces de reconocer Australia, y sabemos que Nueva Zelanda se encuentra al sudeste de Australia. Sabemos que Italia parece una bota a punto de patear el balón de Sicilia, y hay quien cree que Nueva Guinea tiene forma de pájaro. Podemos reconocer fácilmente el contorno de Europa, incluso aunque sus fronteras interiores cambien continuamente. Los imperios van y vienen; las fronteras entre los países van desplazándose a lo largo de la historia. Pero el contorno de los continentes se mantiene estable. ¿O no? Bueno, no, no es así, y ese es el asunto importante. Se desplazan, aunque muy despacio, igual que la posición de las cadenas montañosas: los Alpes, el Himalaya, los Andes y las Rocosas. A decir verdad, estas grandes marcas geográficas se fijan en la escala del tiempo de la historia humana. Pero cabría pensar que para la Tierra eso no es nada de tiempo. La Historia escrita se remonta únicamente hasta hace 5000 años. Si retrocedemos un millón de años, es decir, 200 veces más atrás que la Historia escrita, los continentes mantienen más o menos la misma forma que hoy, al menos hasta donde nuestros ojos son capaces de ver. Pero ¿y si retrocedemos 100 millones de años?

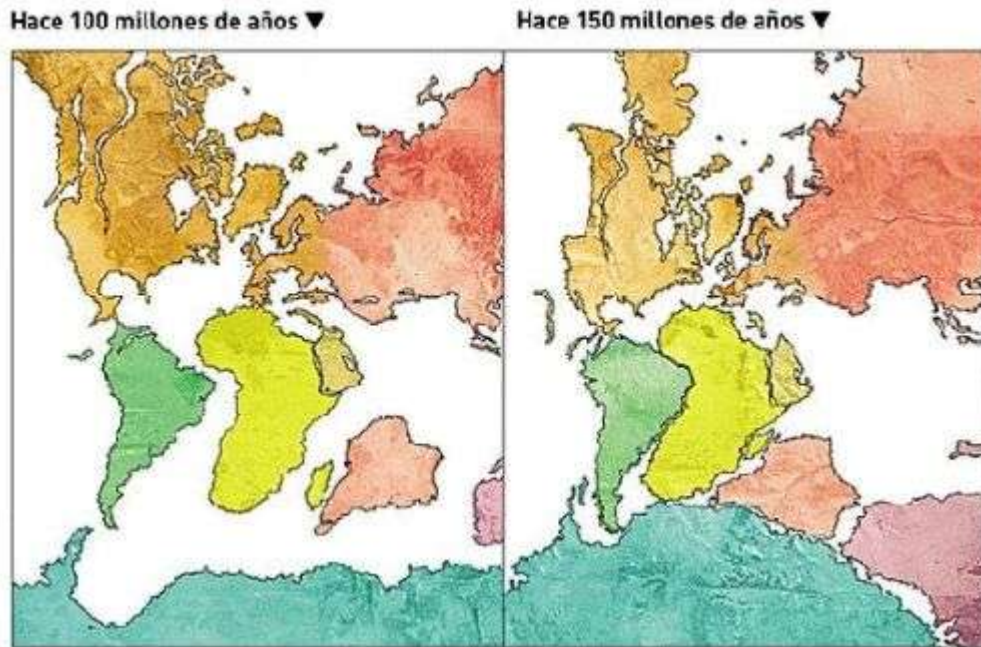
El mundo en la actualidad ▼



Fíjate en el mapa de abajo. El océano Atlántico Sur es un estrecho canal en comparación con lo que es actualmente, y parece como si se pudiera casi saltar de África a Sudamérica. El norte de Europa prácticamente está tocando con Groenlandia, que a su vez está prácticamente tocando con Canadá. Y fíjate dónde está la India: no es parte de Asia, sino que está justo debajo de Madagascar. África también está desplazada con respecto a su ubicación actual.

Si te paras a pensarlo, ¿te has dado cuenta alguna vez, cuando miras un mapa moderno, que el lado este de Sudamérica se parece sospechosamente al lado oeste de África, como si «quisieran» encajar como piezas de un puzzle? Resulta que si retrocedemos un poco más en el tiempo (digamos unos 50 millones de años más, aunque siga siendo muy poco tiempo en la vasta y lenta escala de tiempo geológica), comprobaremos que en realidad estaban juntas. El mapa

de abajo a la derecha muestra cómo eran los continentes del sur hace 150 millones de años.



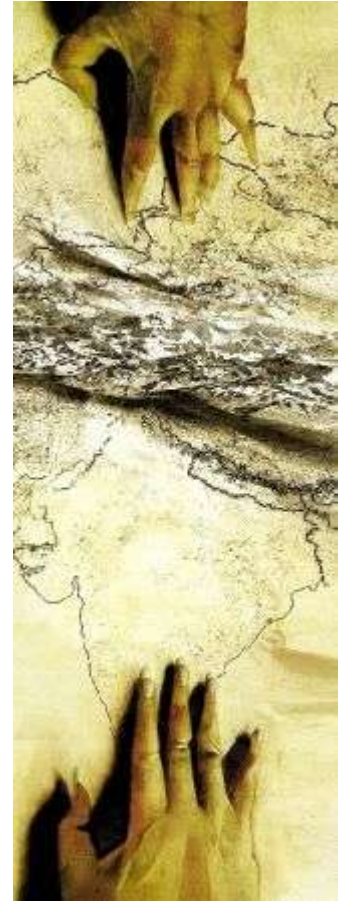
África y Sudamérica estaban completamente unidas, no solo ellas, sino también con Madagascar y la Antártida, además de Australia y Nueva Zelanda, unidas por el otro extremo de la Antártida, aunque no aparecen en la imagen. Todo ello era una gran masa de tierra llamada Gondwana (bueno, Gondwana es el nombre que se le ha dado después; los dinosaurios que vivían allí no la llamaban de ninguna manera, pero hoy la llamamos Gondwana) Más tarde Gondwana se dividió en trozos, creando un continente tras otro. Suena un poco a cuento chino, ¿no crees? Me refiero a que parece ridículo que una cosa tan grande como un continente pueda

desplazarse miles de kilómetros, pero ahora sabemos que sí ocurrió, y lo que es más, entendemos cómo ocurrió.

§. Cómo se mueve la Tierra

También sabemos que los continentes no solo se alejan unos de otros. A veces chocan unos con otros, y cuando eso ocurre, enormes cadenas montañosas se elevan hacia el cielo. Así es como se formó la cordillera del Himalaya: cuando la India chocó con Asia. En realidad no es del todo cierto que India chocara con Asia. Tal como veremos, lo que chocó con Asia fue algo mucho mayor llamado «placa», con la India colocada justo encima. Todos los continentes están asentados encima de «placas» Enseguida veremos lo que son, pero antes pensemos un poco más en esos «choques» y en la separación de los continentes.

Cuando escuchas una palabra como «chocar» puedes pensar en un choque instantáneo, como cuando un camión choca contra un coche. No es exactamente así. El movimiento de los continentes es extremadamente lento. Alguien dijo una vez que se mueven a la velocidad a la que crecen las uñas. Si te sientas y te quedas mirando a tus uñas, no las verás crecer. Pero si esperas unas cuantas semanas, podrás ver que han crecido, y deberás cortártelas. De forma similar, no puedes ver cómo



Sudamérica se separa de África. Pero si esperas 50 millones de años, observarás que los dos continentes se han separado bastante. «La velocidad a la que crecen las uñas» es la velocidad media a la que se mueven los continentes. Pero las uñas crecen a una velocidad más o menos constante, mientras que los continentes se desplazan a tirones: se produce un tirón, después una pausa de cientos de años, mientras va aumentando la presión capaz de moverlos, y después otro tirón, y así siempre.

Quizá ya te estés preguntando qué son en realidad los terremotos. Sí: un terremoto es lo que sentimos cuando se produce uno de esos tirones.

Te estoy diciendo que eso es un hecho conocido, pero ¿cómo lo conocemos? Y ¿cuándo lo descubrimos por primera vez? Es una historia fascinante que necesito contarte.

Algunas personas en el pasado habían observado la curiosa forma en que encajaban Sudamérica y África, pero no supieron deducir nada de ello. Hace unos cien años, un científico alemán llamado Alfred Wegener sugirió algo curioso. Fue tan curioso que mucha gente pensó que estaba loco. Wegener sugirió que los continentes se



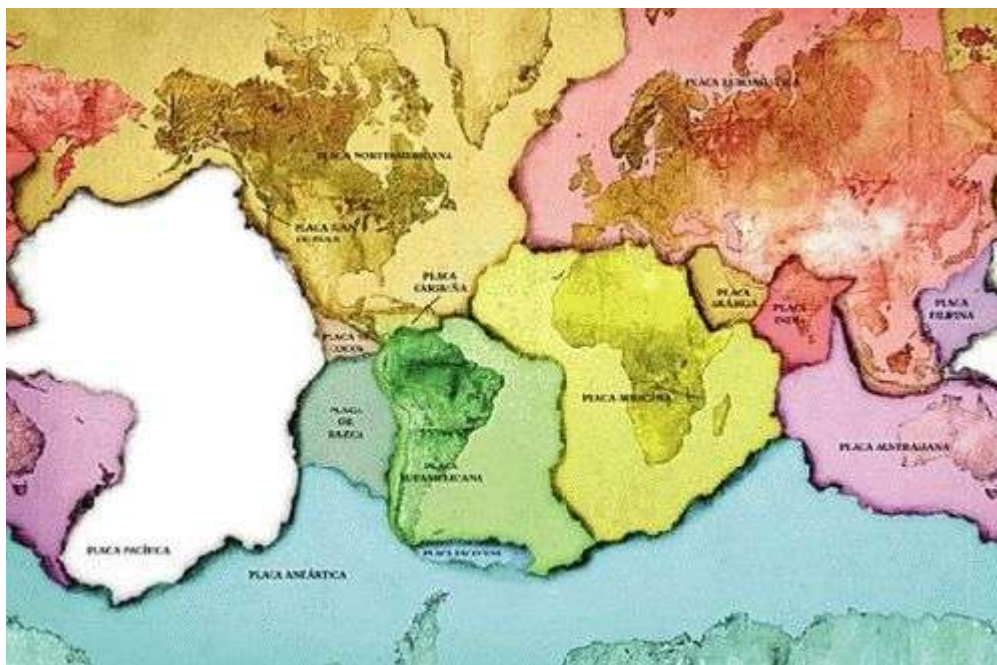
separaban como barcos gigantes. África y Sudamérica, y el resto de grandes masas de tierra del sur, según la visión de Wegener, habían estado alguna vez juntas. Después se fueron separando a través de los mares en distintas direcciones. Eso es lo que pensaba Wegener, y la gente se rio de él. Pero ahora se ha demostrado que llevaba razón; bueno, al menos cierta razón, y estaba mucho más cerca de la verdad que la gente que se reía de él.

La teoría moderna de las placas tectónicas, que se sustenta por multitud de pruebas, es más o menos la misma idea de Wegener. Wegener llevaba razón en lo de que África y Sudamérica, India, Madagascar, la Antártida y Australia estuvieron alguna vez unidas y después se separaron. Pero la forma en la que ocurrió, según la teoría de las placas tectónicas, es algo distinta a como lo planteó Wegener. Él pensó que los continentes flotaban sobre el mar, no sobre el agua, sino sobre el fondo, sobre las capas fundidas o semi fundidas de la corteza terrestre. La moderna teoría de las placas tectónicas estudia toda la corteza terrestre, incluyendo el fondo de los mares, como un conjunto completo de placas que chocan entre sí. Por tanto, lo que ocurre no es que los continentes se muevan: son las placas sobre las que se asientan las que lo hacen y no hay ni un pedazo de superficie terrestre que no forme parte de una placa.

§. Las principales placas tectónicas de la Tierra

La mayor parte del área de la mayoría de las placas está bajo el mar. Las masas de tierra que conocemos como continentes son la

parte superior de las placas que sobresale del agua. África es la parte superior de la enorme placa africana, que se extiende por el Atlántico Sur. Sudamérica es la parte superior de la placa sudamericana, que se extiende por la otra mitad del Atlántico Sur. Otras placas son la india y la australiana; la placa euroasiática, que incluye a Europa y toda Asia salvo la india; la placa arábiga, que es algo más pequeña y se encuentra entre las placas euroasiática y africana; la placa norteamericana, que incluye a Groenlandia y Norteamérica, y se extiende por el fondo del Atlántico Norte. Y hay algunas otras placas que contienen algo de tierra seca encima, como, por ejemplo, la enorme placa pacífica.



En la imagen puedes comprobar que la división entre la placa sudamericana y la placa africana atraviesa por medio el Atlántico

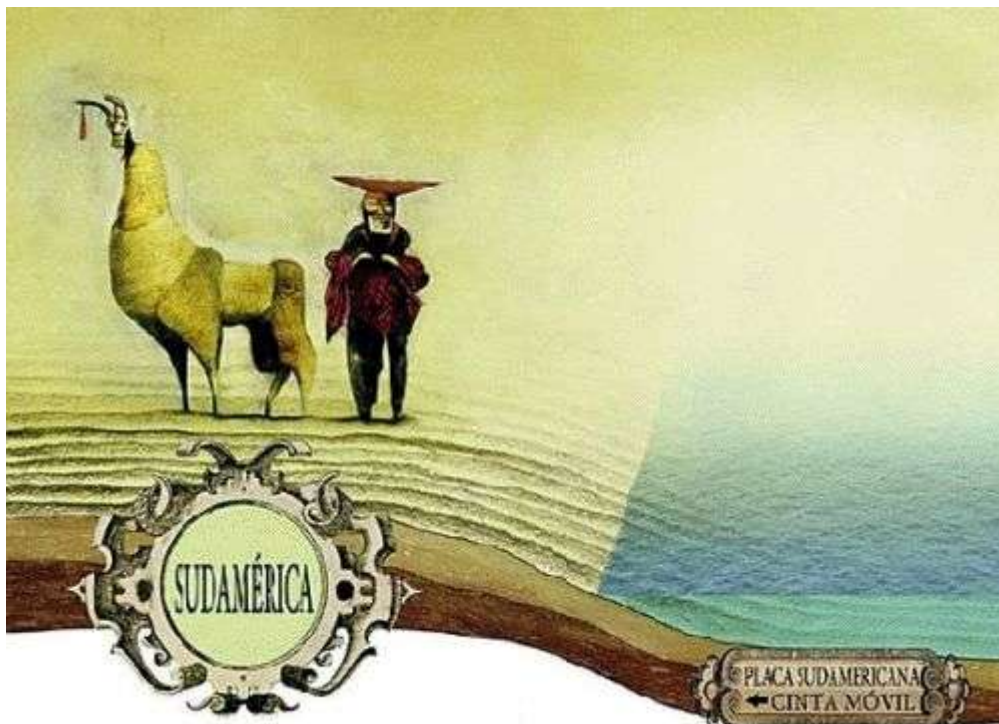
Sur, a miles de kilómetros de ambos continentes. Recuerda que las placas incluyen también el fondo del mar, y eso significa roca dura.



Por tanto, ¿cómo es posible que Sudamérica y África estuvieran juntas hace 150 millones de años? Wegener no habría tenido problema en explicarlo, porque pensaba que los propios continentes flotaban. Pero si Sudamérica y África una vez estuvieron juntas, ¿cómo se explica lo de las placas tectónicas bajo el mar, de roca dura, que ahora las separa? ¿Han crecido de alguna forma las partes sumergidas de las placas?

§. La expansión del fondo marino

Sí. La respuesta se basa en algo llamado «expansión del fondo marino» Alguna vez habrás visto esas pasarelas en los aeropuertos para que la gente arrastre su equipaje y camine largas distancias como, por ejemplo, entre la entrada de la terminal y la zona de embarque. En lugar de tener que caminar toda esa distancia, los pasajeros se suben en una cinta que se mueve y los transporta desde un punto hasta otro. Las pasarelas móviles de los aeropuertos tienen la anchura justa para que la gente se mantenga encima de pie.



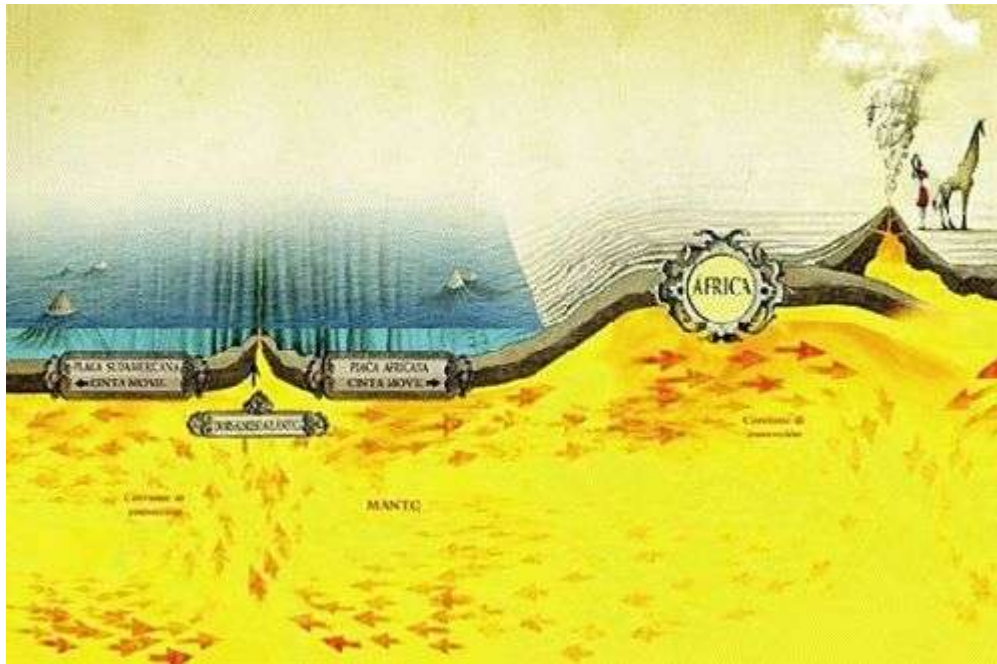
Pero imagina ahora una pasarela móvil de miles de kilómetros de anchura, ocupando la mayor parte del espacio entre el Ártico y la

Antártida. Y ahora imagina que en lugar de desplazarse a la velocidad de una persona caminando se mueve a la velocidad a la que crecen las uñas. Sí, lo has adivinado. Sudamérica y toda la placa sudamericana están siendo arrastradas lejos de África y de la placa africana, sobre algo así como una pasarela móvil colocada bajo el mar y que abarca desde el lejano norte hasta el lejano sur del océano Atlántico, desplazándose muy despacio.

¿Y África? ¿Por qué no se mueve la placa africana en la misma dirección, y por qué no se mueve al ritmo de la placa sudamericana? La respuesta es que África está sobre una pasarela móvil distinta, una que se mueve en sentido contrario. La pasarela africana se mueve de oeste a este, mientras que la sudamericana se mueve de este a oeste. ¿Y qué ocurre entonces en el medio? La próxima vez que estés en un gran aeropuerto, detente justo antes de dar el paso de entrada a la pasarela móvil y obsérvala. Surge de una grieta en el suelo y se aleja de ti. Es una cinta que da vueltas y que se mueve por el suelo y regresa a ti por debajo del suelo. Ahora imagina otra cinta haciendo el mismo movimiento, pero exactamente en sentido contrario. Si colocas un pie en una cinta y el otro pie en la otra, te verás obligado a abrirte de piernas.

El equivalente a esa ranura del suelo en el fondo del océano Atlántico va desde el norte más alejado hasta el sur del sur. Es lo que se ha denominado «dorsal mesoatlántica» o cordillera atlántica. Las dos «cintas» surgen de la dorsal mesoatlántica y se desplazan en direcciones opuestas, una arrastrando suavemente a Sudamérica hacia el oeste y la otra arrastrando a África hacia el este. Y al igual

que las cintas del aeropuerto, las grandes cintas que desplazan las placas tectónicas se dan la vuelta y regresan por debajo del fondo de la Tierra.



La próxima vez que estés en un aeropuerto, súbete en una pasarela móvil y deja que te lleve, mientras imaginas que eres África (o Sudamérica, si lo prefieres) Cuando llegues al otro extremo de la pasarela y salgas de ella, observa cómo la cinta se sumerge bajo tierra para regresar a la posición en la que te subiste en ella.

Las pasarelas móviles de un aeropuerto funcionan con motores eléctricos. ¿Qué es lo que hace moverse a las cintas que arrastran las grandes placas de la Tierra con sus continentes encima? Bajo la superficie de la Tierra, a gran profundidad, hay algo que se denomina «corrientes de convección». ¿Qué es una corriente de

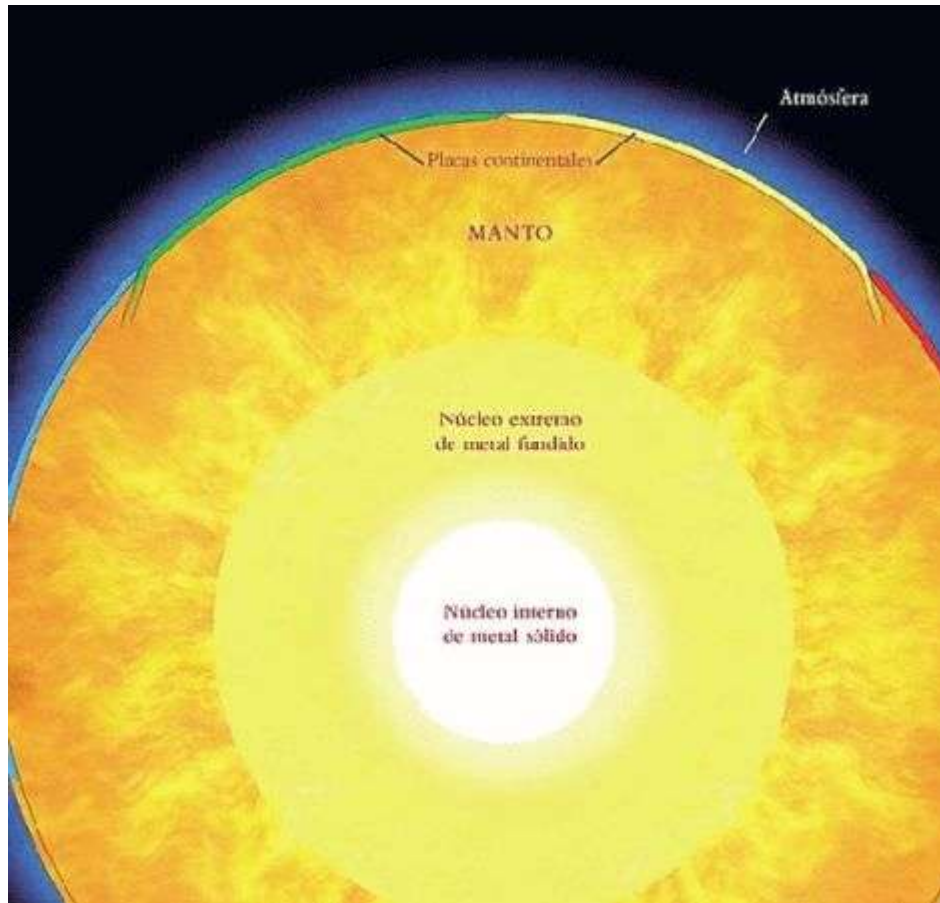
convección? Quizá tengas en tu casa un calentador de convección eléctrico. Así es como funciona para calentar una habitación. Calienta el aire. El aire caliente se eleva porque es menos denso que el aire frío (por eso es por lo que los globos aerostáticos se elevan). El aire caliente sube hasta que choca con el techo, donde ya no puede subir más y se ve desplazado hacia las paredes por el aire fresco que lo empuja desde abajo. A medida que se desplaza hacia los lados, el aire se enfría y, por tanto, desciende. Cuando llega abajo vuelve a desplazarse por el suelo hasta que choca con el calentador y vuelve a elevarse. Aunque esta explicación es bastante simple, la idea básica es la misma: en condiciones ideales, un calentador de convección puede mantener el aire moviéndose por la habitación, circulando. Ese tipo de circulación es lo que se denomina «corriente de convección».

Lo mismo ocurre con el agua. De hecho, puede suceder con cualquier líquido o cualquier gas. Pero ¿cómo puede haber corrientes de convección bajo la superficie de la Tierra? No hay líquido ahí abajo, ¿o sí? Bueno, en cierto sentido, así es. No es líquido como el agua, pero es algo semilíquido como la miel dura o la melaza. Es así porque hace tanto calor que todo se funde. El calor procede de muy al fondo. El centro de la Tierra está muy caliente, y sigue caliente hasta muy cerca de la superficie. De vez en cuando, ese calor sale al exterior por un hueco en la superficie que denominamos volcán.

§. Alimentado por calor

Las placas están hechas de roca sólida, y como hemos visto antes, la mayor parte de ellas se encuentra bajo el mar. Cada placa tiene un grosor de varios kilómetros. Esta armadura sólida se denomina litosfera, que literalmente significa «esfera de piedra» Bajo la esfera de piedra existe una capa aún más gruesa, si es que logras imaginarla, que no se denomina esfera de melaza, pero probablemente debería (es en realidad el manto superior) Podría decirse que las duras placas de roca de la esfera de piedra «flotan» sobre la esfera de melaza. El enorme calor que hay bajo ese manto y dentro del mismo provoca corrientes de convección muy lentas, que arrastran a las grandes placas de roca que flotan encima.

Las corrientes de convección siguen unas rutas ciertamente complicadas. Basta con que pienses en las distintas corrientes oceánicas, e incluso en los vientos, que son una especie de corrientes de convección de alta velocidad. Por tanto, no es extraño que las distintas placas de la superficie terrestre puedan ser arrastradas en cualquier dirección, en lugar de dar vueltas como si estuvieran en un tiovivo. Las placas se montan unas encima de otras, o se alejan lentamente, o se sumergen una bajo otra, o se rozan entre sí. Y es normal que sintamos esas fuerzas titánicas — rozando, desgarrándose, rugiendo y rascando— en forma de terremotos. Lo extraño no es que haya terremotos, sino que no haya movimientos aún más terribles.



A veces una placa en movimiento se sumerge bajo una placa vecina. Eso es lo que se denomina «subducción». Parte de la placa africana, por ejemplo, está siendo subducida bajo la placa euroasiática. Ese es uno de los motivos por los que hay terremotos en Italia, y es uno de los motivos por los que el monte Vesubio entró en erupción en la época de la antigua Roma, y destruyó las ciudades de Pompeya y Herculano (porque los volcanes tienden a ubicarse en los bordes de las placas). La cordillera del Himalaya, en la que se encuentra el monte Everest, fue levantada cuando la placa india se subdujo ligeramente bajo la placa euroasiática.

Habíamos empezado hablando de la falla de San Andrés, así que volvamos a ella. La falla de San Andrés es una línea más o menos recta entre la placa pacífica y la placa norteamericana. Ambas placas se mueven de norte a oeste, pero la placa pacífica se mueve más deprisa.



La ciudad de Los Ángeles está sobre la placa pacífica, no sobre la placa norteamericana, y se está acercando muy lentamente hacia San Francisco, cuya mayor parte está en la placa norteamericana. Siempre se producen constantes terremotos en toda esa región, y los expertos hablan de que habrá uno gigantesco en los próximos diez años. Por suerte, California, a diferencia de Haití, está muy bien equipada para soportar la terrible plaga de las víctimas de un terremoto. Algún día, parte de Los Ángeles podría terminar en San

Francisco. Pero falta mucho para eso, y ninguno de nosotros estará aquí para verlo.

Capítulo 11

¿Por qué ocurren cosas?

*Contenido:*

- §. *¿Por qué ocurren en realidad cosas malas?*
- §. *Suerte, oportunidad y causa*
- §. *Pollyanna y paranoia*
- §. *Enfermedad y evolución: ¿una obra inacabada?*

¿Por qué ocurren cosas malas? Después de un terrible desastre como un terremoto o un huracán, escucharás a la gente decir cosas como estas:

Es tan injusto. *¿Qué ha hecho esa pobre gente para merecer un destino como este?*

Si una persona realmente buena cae enferma y muere, mientras personas realmente malas conservan una salud magnífica, una vez más gritaremos:

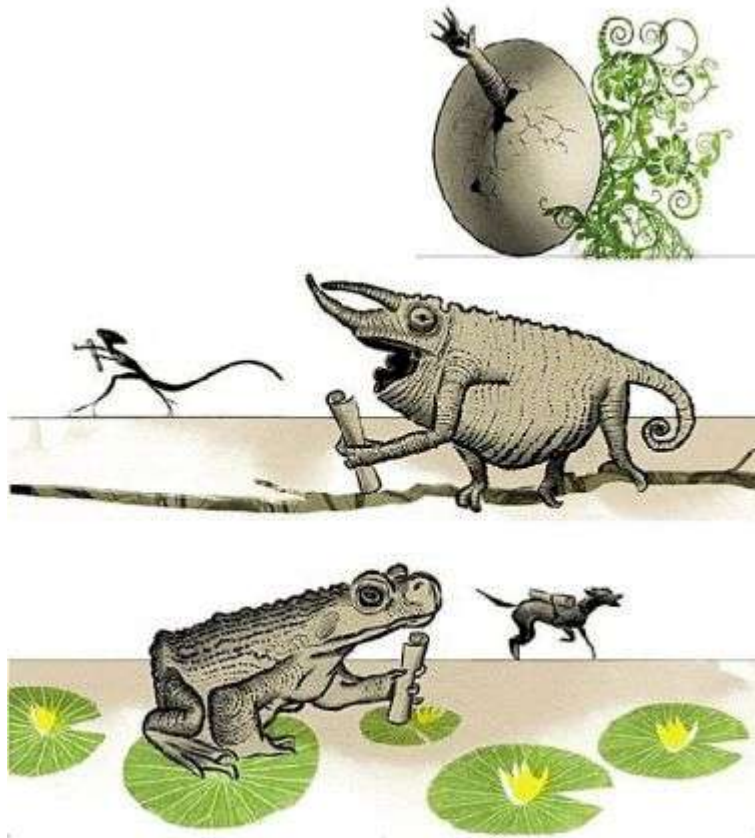
¡Injusticia! O diremos:

¿Dónde está la justicia en esto?

Es difícil evitar sentir que, de alguna forma, debería haber algún tipo de justicia natural. Las cosas buenas deberían ocurrirle a la gente buena. Las cosas malas, si tienen que ocurrir, deberían pasarle únicamente a la gente mala. En la magnífica obra de Oscar Wilde «La importancia de llamarse Ernesto», una institutriz anciana llamada *Miss Prism* explica cómo, mucho tiempo atrás, escribió una novela. Cuando le preguntaron si tenía un final feliz, ella contestó: «El bueno termina feliz, y el malo infeliz. Eso es lo que significa ficción». La vida real es distinta. Las cosas malas ocurren, y le ocurren a gente buena y a gente mala. ¿Por qué? ¿Por qué la vida real no es como la ficción de la señora Prism? ¿Por qué ocurren cosas malas?

Mucha gente cree que sus dioses trataron de crear un mundo perfecto, pero por desgracia algo salió mal, y hay infinidad de ideas sobre qué es ese algo. La tribu Dogon de África occidental cree que al principio del mundo había un huevo cósmico del que emergieron dos gemelos. Todo habría ido bien si los dos gemelos hubieran salido del huevo a la vez. Lamentablemente, uno de ellos salió

demasiado pronto y arruinó el plan de perfección del dios. Ese es el motivo, según los Dogon, por el que ocurren cosas malas.



Existen multitud de leyendas sobre cómo apareció la muerte en el mundo. Por toda África, distintas tribus creen que el camaleón recibió la noticia de la vida eterna y se le pidió que la comunicara a los humanos. Por desgracia, el camaleón anduvo tan despacio (así lo hacen, y yo lo sé: como cualquier niño en África tuvo una mascota camaleón llamada Hookaria) que la noticia de la muerte, llevada por un lagarto (o algún otro animal más rápido en otras versiones de la leyenda) llegó antes. En una leyenda de África occidental la noticia

de la vida fue encargada a un sapo muy lento, que lamentablemente fue adelantado por un perro más rápido que llevaba la noticia de la muerte. Debo decir que me confunde un poco que *el orden en el que llegan las noticias* sea tan importante. Las malas noticias son malas, lleguen cuando lleguen.

La enfermedad es un tipo especial de cosa mala, y ha generado multitud de mitos por sí sola. Uno de los motivos es que durante mucho tiempo las enfermedades fueron algo misterioso. Nuestros antepasados se enfrentaban a otros peligros como leones y tigres de dientes de sable, enemigos de otras tribus o la amenaza del hambre, pero los veían venir y los entendían. En cambio, la viruela, la peste negra o la malaria parecían provenir de ninguna parte, sin aviso previo, y no había forma de prevenir sus ataques. Eran un misterio terrorífico. ¿De dónde provenían las enfermedades? ¿Qué habíamos hecho para merecer estas enfermedades dolorosas, los terribles dolores de muelas o los espantosos granos? No es de extrañar que la gente acudiera a la superstición cuando trataban desesperadamente de entender la enfermedad, y aún más desesperadamente trataban de prevenirse frente a ella. En muchas tribus africanas, hasta hace bien poco, si alguien caía enfermo o tenía un hijo enfermo enseguida se buscaba a un mago malvado o una bruja a quien echarle la culpa. Si mi hijo tiene fiebre alta, debe de ser porque un enemigo ha pagado a un brujo para que recite un conjuro en su contra. O quizá es porque no fui capaz de sacrificar una cabra cuando nació. O quizá porque una gran oruga verde se cruzó en mi camino y olvidé conjurar al espíritu del mal.



En la Grecia antigua, los peregrinos enfermos debían pasar la noche en un templo dedicado a Esculapio, el dios de la curación y la medicina. Creían que ese dios les curaría o les revelaría cómo hacerlo a través de un sueño. Incluso hoy en día, un número sorprendentemente grande de enfermos viajan a lugares como Lourdes, donde se sumergen en una piscina sagrada con la esperanza de que el agua bendita les cure (en realidad, yo sospecho que es más probable que cojan alguna enfermedad de otra gente que se ha bañado en la misma agua) Cerca de 200 millones de personas han peregrinado a Lourdes durante los últimos 140 años, con la esperanza de encontrar una cura. En muchos casos no tienen nada grave, y por suerte la mayoría mejoran, igual que si se hubieran quedado en su casa.



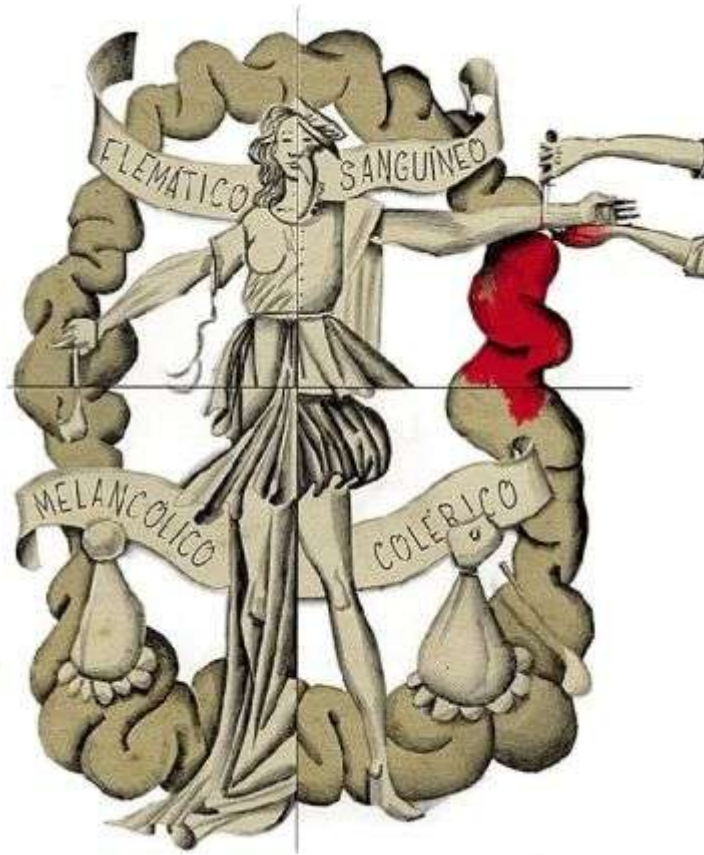
Hipócrates, el «padre de la medicina» de la antigua Grecia, que dio su nombre al juramento que se supone han de cumplir todos los médicos, pensaba que los terremotos eran causas importantes de enfermedad. En la Edad Media mucha gente creía que las enfermedades estaban causadas por los movimientos de los planetas en el firmamento de las estrellas. Esto es parte de un sistema de creencias denominado astrología que, por ridículo que suene, sigue teniendo en la actualidad miles de seguidores.

El mito más extendido sobre la salud y la enfermedad que se mantuvo desde el siglo V a. C. hasta el siglo XVIII de nuestra era fue

el de los cuatro «humores» Cuando decimos que alguien «está de buen humor» estamos usando una expresión que procede de ahí, aunque la gente ya no cree en el concepto en el que se basa. Los cuatro humores eran la bilis negra, la bilis amarilla, la sangre y la flema. La buena salud, por tanto, dependía de un buen «equilibrio» entre ellos, y aún puedes escuchar cosas similares a curanderos que te impondrán sus manos con el fin de «equilibrar» tus «energías» o tus «chakras».

En realidad, la teoría de los cuatro humores no podía ayudar a los médicos a curar las enfermedades, pero tampoco hacía más daño que el de permitirles practicar sangrías en sus pacientes. Esto consistía en abrir una vena con un instrumento afilado llamado lanceta y extraer cierta cantidad de sangre en un cuenco especial. Esto, como es lógico, hacía que el pobre enfermo se pusiera aún peor (y contribuyó a la muerte de George Washington), pero los médicos creían tanto en el mito antiguo de los humores que lo repetían una y otra vez. Y lo que es peor, la gente no solo se dejaba sangrar cuando estaba enferma. A veces le pedían al médico que lo hiciera como prevención de posibles enfermedades.

Una vez, cuando estaba en el colegio, nuestra maestra nos pidió que pensáramos por qué ocurrirán las enfermedades. Un niño levantó la mano y contestó que eran ¡por culpa de los pecados! Hay mucha gente, incluso en la actualidad, que piensa que el pecado es, en general, el origen de las cosas malas. Algunos mitos sugieren que las cosas malas ocurren en el mundo porque nuestros antepasados pecaron hace muchos años.



Ya he mencionado el mito judío de nuestros antepasados Adán y Eva. Recordarás que Adán y Eva hicieron una única cosa terrible: se dejaron convencer por la serpiente para comer la fruta del árbol prohibido. Ese crimen mítico ha perdurado durante generaciones, y se sigue viendo como el responsable de todas las cosas malas que han sucedido en el mundo hasta ahora.



Muchos mitos hablan de un conflicto entre dioses buenos y dioses malos (o diablos). Los dioses malos son los responsables de las cosas malas que ocurren en el mundo. O podría haber un único espíritu del mal, llamado diablo o algo similar, que lucha con el dios bueno o los dioses buenos. Si no hubiera esta lucha entre dioses y demonios, o dioses buenos y dioses malos, nunca ocurrirán cosas malas.

§. ¿Por qué ocurren *en realidad* cosas malas?

¿POR QUÉ ocurre *cualquier cosa*? Es una pregunta difícil de responder, pero es una pregunta más razonable que « ¿por qué

ocurren cosas *malas*?». Esto se debe a que no hay un motivo para tratar las cosas malas de forma independiente, a menos que las cosas malas ocurran con más frecuencia de lo que se espera, por casualidad; o a menos que creamos que debería haber una especie de justicia natural, lo que significaría que las cosas malas solo deberían ocurrirle a la gente mala.



¿Las cosas malas ocurren con más frecuencia de lo que cabría esperar? Si fuera así, realmente tendríamos algo que explicar. Puede que hayas oído hablar en broma sobre la «ley de Murphy» Esta ley afirma lo siguiente: «Si se te cae una tostada con mermelada al suelo, siempre caerá con la mermelada hacia abajo». O de forma más general: «Si algo puede salir mal, saldrá mal». La gente suele hacer chistes sobre este asunto, pero a veces da la sensación de que creen que es algo más que un chiste. Parecen creer realmente que el mundo trata de atacarles.

He grabado bastantes reportajes para documentales en televisión, y una de las cosas que pueden salir mal en una filmación «en

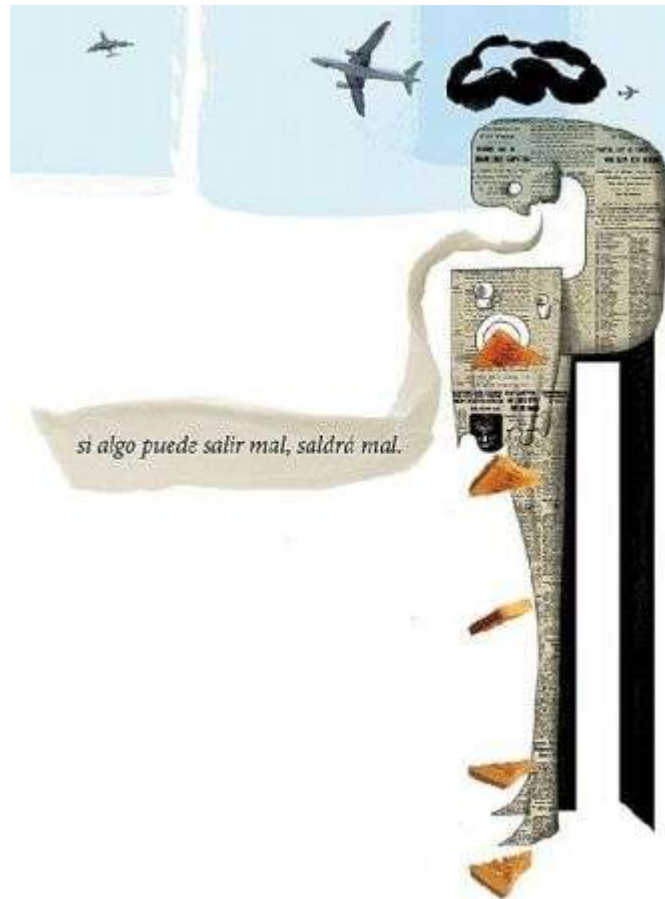
exteriores» es el ruido no deseado. Cuando se escucha a lo lejos un avión tienes que dejar de filmar y esperar a que pase, y eso puede llegar a ser muy irritante. Los dramas costumbristas de siglos pasados se arruinan con el ruido de un avión. La gente del cine tiene la superstición de que los aviones eligen deliberadamente los momentos en los que el silencio es más importante para sobrevolar sus cabezas, y automáticamente invocan a la ley de Murphy.



Hace poco, los encargados de una película en la que trabajaba eligieron una ubicación en la que creímos estar seguros de que no habría ruido, una gran pradera vacía cerca de Oxford. Llegamos por

la mañana temprano para asegurarnos de que habría silencio y tranquilidad, pero nada más llegar descubrimos a un escocés solitario practicando con su gaita (quizá expulsado de su casa por su mujer). «La ley de Murphy», dijimos todos. La verdad, como es lógico, es que prácticamente todo el tiempo hay ruido, pero solo lo *notamos* cuando nos molesta, por ejemplo, cuando interfiere en una filmación. Existe cierta predisposición a percibir aquello que nos enoja, y eso nos hace pensar que el mundo trata de molestarnos de manera deliberada.

En el caso de la tostada, no debe sorprendernos que caiga con la mermelada hacia abajo la mayoría de las veces, porque las mesas no son muy altas, y la tostada suele empezar la caída con la mermelada hacia arriba, por lo que le da tiempo justo para dar media vuelta antes de llegar al suelo. Pero el caso de la tostada es simplemente un ejemplo vistoso para expresar la idea general de que...



Quizá este sería un ejemplo mejor para la ley de Murphy: «Si te juegas algo a cara o cruz, cuanto más desees que salga cara, más probable es que salga cruz».

Esta es, al menos, la visión pesimista. Hay optimistas que piensan que cuanto más desees que salga cara, más probable es que la moneda caiga de cara. Quizá podríamos denominarlo la «ley de Pollyanna», o creencia optimista de que las cosas tienden a salir bien. O podría denominarse la «ley de Pangloss», nombre de un personaje inventado por el gran escritor francés Voltaire. Su doctor Pangloss pensaba que «todo es para bien en este mundo, el mejor de los mundos posibles».

Cuando lo vemos así, descubrimos rápidamente que tanto la ley de Murphy como la ley de Pollyanna carecen de sentido. Las monedas, o las tostadas, no tienen forma de saber lo que tú deseas, y ningún deseo propio les hará cambiar de postura. Además, lo que es malo para una persona puede ser bueno para otra. Los jugadores de tenis pueden rezar fervientemente por la victoria, pero ¡uno de los dos tiene que perder! No hay un motivo especial para preguntarse por qué ocurren cosas malas. La pregunta que subyace es más general: «¿por qué ocurre *cualquier cosa*?».

§. Suerte, oportunidad y causa

A veces la gente dice: «Todo ocurre por algún motivo». En cierto sentido es verdad. Todo ocurre por un motivo, que es lo mismo que decir que los sucesos tienen causas, y la causa siempre aparece antes que el suceso. Los tsunamis ocurren porque hay terremotos bajo el mar, y los terremotos se producen porque hay corrimientos en las placas tectónicas de la Tierra, tal como vimos en el Capítulo 10. Ese es el sentido verdadero de la afirmación de que todas las cosas ocurren por una razón: el sentido en el que «razón» significa «causa anterior». Pero la gente a veces utiliza la palabra «razón» en un sentido muy diferente: para indicar algo como «propósito» Dicen cosas como:

El tsunami fue un castigo por nuestros pecados, o La razón del tsunami fue destruir los clubes de striptease y las discotecas y bares y otros lugares de pecado.

Es increíble con qué frecuencia recurre la gente a este tipo de sinsentidos.

Quizá es una resaca de la infancia. Los psicólogos infantiles han demostrado que los niños muy pequeños, cuando se les pregunta por qué ciertas rocas son puntiagudas, evitan las causas científicas como explicación y prefieren esta otra respuesta: «Para que los animales puedan rascarse cuando les pica». La mayoría de los niños abandonan con la edad ese tipo de explicaciones para las rocas puntiagudas. Pero muchos adultos son incapaces de deshacerse de ese mismo tipo de explicación cuando se trata de grandes desgracias como terremotos, o de buena suerte como el hecho de escapar de uno.

¿Y qué pasa con la «mala suerte»? ¿Existe algo como la mala suerte, o incluso la buena suerte? ¿Hay gente más afortunada que otra? La gente habla a veces de una «racha» de mala suerte. O dicen: «Me han ocurrido tantas cosas malas últimamente que me merezco tener un golpe de buena suerte». O quizá dicen: «Fulanito de tal es una persona desafortunada, las cosas siempre parecen salirle mal».

«Merezco un golpe de buena suerte» es un ejemplo de una interpretación errónea y muy extendida de la «ley de promedios». En el juego del críquet es bastante decisivo qué equipo batea primero. Los dos capitanes se juegan a cara o cruz quién aprovecha esa ventaja, y los seguidores de cada equipo esperan que su capitán gane ese sorteo. Antes de un reciente partido entre la India y Sri Lanka, en una página web de Yahoo apareció esta pregunta:

¿Volverá Dhoni [el capitán indio] a tener suerte una vez más con la moneda?

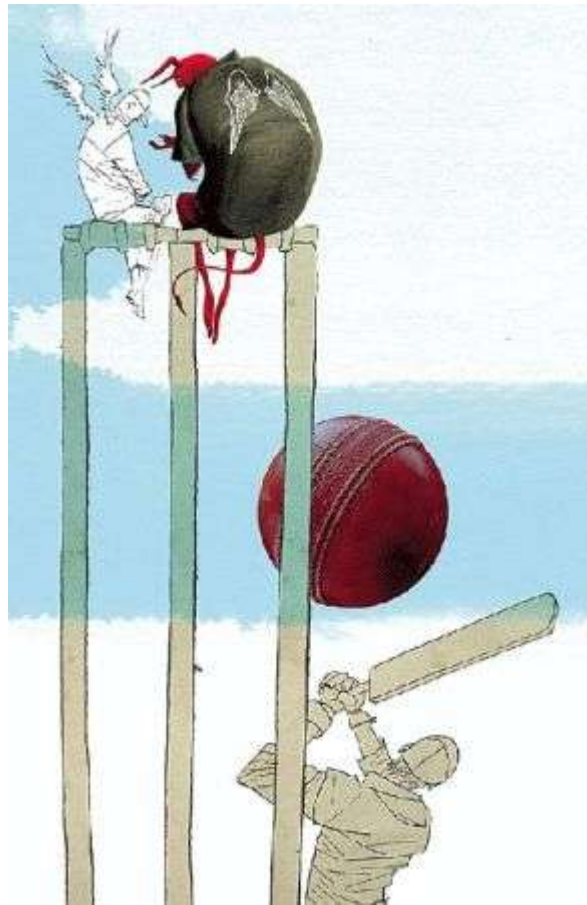
De entre las respuestas que recibieron, se eligió la siguiente como «mejor respuesta» (por algún motivo que aún no entiendo):

Yo creo firmemente en la ley de promedios, así que apuesto por que Sangakkara [el capitán de Sri Lanka] tendrá suerte y ganará el famoso sorteo.

¿No te parece que es una estupidez? En una serie de partidos anteriores, Dhoni siempre ganó el sorteo. Se supone que las monedas no están trucadas. Por tanto, la malentendida «ley de promedios» diría que Dhoni, como ya ha tenido tanta suerte, ahora debería perder el sorteo para *equilibrar la balanza*. Otra forma de expresarlo sería decir que ahora es el *turno* de Sangakkara para ganar el sorteo. O que sería *injusto* si Dhoni ganara de nuevo. Pero la realidad es que, independientemente de cuántas veces haya ganado Dhoni, las opciones de que vuelva a ganar *siempre* son 50/50. Ni el «turno» ni la «justicia» tienen nada que ver. *Nosotros* podemos ocuparnos de lo justo y lo injusto, ¡pero las monedas no deciden! Tampoco el universo decide.

Sí es cierto que si lanzas una moneda 1000 veces, cabe esperar que salgan aproximadamente 500 caras y 500 cruces. Pero supón que has lanzado la moneda 999 veces y siempre ha salido cara. ¿A qué apostarías en la última tirada? Según la errónea interpretación de la «ley de promedios», deberías apostar a cruz, porque es el *turno* de la

cruz, y porque sería muy *injusto* si volviera a salir cara. Pero yo apostaría a que sale cara, y tú deberías hacerlo también. Una secuencia de 999 caras sugiere que alguien ha trucado la moneda o hace trampa al lanzarla. La malentendida «ley de promedios» ha sido la ruina de muchos jugadores



Lo cierto es que, *a posteriori*, podrías decir: «Sangakkara tuvo muy mala suerte al perder el sorteo, porque eso significó que India bateara en primer lugar y consiguiera una gran distancia en el marcador». No hay nada incorrecto en eso. Lo único que estás diciendo es que esta vez, ganar el sorteo sí suponía una diferencia,

de forma que quien ganara el sorteo en esa ocasión en concreto tendría suerte por haberlo hecho. Lo que *no* deberías decir es que como Dhoni ha ganado el sorteo muchas veces antes, ¡ahora es el turno de Sangakkara! Tampoco deberías decir algo como esto: «Dhoni es un buen jugador de críquet, pero el motivo real por el que deberíamos hacerle capitán es que tiene mucha suerte con el sorteo inicial». La suerte en los lanzamientos de monedas no es algo que posean algunas personas en concreto. Puedes decir de un jugador de críquet que es buen bateador o mal boleador. Pero *no* puedes decir que es bueno o malo ganando el sorteo de la moneda.

Por ese mismo motivo, carece absolutamente de sentido pensar que puedes mejorar tu suerte llevando un amuleto alrededor del cuello o cruzando los dedos a la espalda. Esas cosas no influyen en absoluto en lo que ocurre, salvo en el hecho de cómo te sientes: tendrás más confianza y los nervios más calmados antes de sacar, por ejemplo, en un partido de tenis. Pero eso no tiene nada que ver con la suerte; eso es psicología.

Si quieres un ejemplo realmente divertido de «propensión a los accidentes» no tienes más que ver la desternillante película *La Pantera Rosa*, protagonizada por Peter Sellers como el inspector Jacques Clouseau. El inspector Clouseau sufre continuamente accidentes divertidos y embarazosos, pero se debe a que es un chapucero, no a que tenga constantemente mala «suerte», que es como alguna gente utiliza esa frase. (Por cierto, trata de ver la película original, *La Pantera Rosa*, no las versiones posteriores con

títulos como *El hijo de la Pantera Rosa*, *La venganza de la Pantera Rosa*, etc., que aparecieron como secuelas).



§. Pollyanna y paranoia

Por tanto, hemos visto que las cosas malas, al igual que las cosas buenas, no ocurren más a menudo por casualidad de lo que deberían. El universo no tiene mente, ni sentimientos ni personalidad, por tanto, no hace las cosas con el fin de dañarte o beneficiarte. Las cosas malas ocurren porque *las cosas* ocurren. Si son buenas o malas desde nuestro punto de vista no influye en la probabilidad de que ocurran. A mucha gente le cuesta admitir esto,

prefieren pensar que los pecadores reciben su merecido y que la virtud es recompensada. Lamentablemente, al universo no le importa lo que la gente prefiera.

Pero dicho todo esto, me detendré un momento a pensar. En cierta forma divertida, he de admitir que parte de la ley de Murphy es cierta. Aunque definitivamente no es cierto que el clima o un terremoto vayan a por ti (porque a ellos no les importas tú, de una forma u otra), las cosas son algo diferentes cuando hablamos del mundo viviente. Si eres un conejo, el zorro sí va a por ti. Si eres un pez pequeño, el lucio sí va a por ti. No quiero decir que el zorro o el lucio piensen en ello, aunque podría ser. Sería igual que decir que un virus va a por ti, y nadie creería que los virus piensen en nada. Pero la evolución por selección natural ha demostrado que los virus, y los zorros y los lucios se comportan de forma activamente mala para sus víctimas, se comportan como si fueran deliberadamente a por ellas, algo que no podemos decir de los terremotos, los huracanes o las avalanchas. Los terremotos y los huracanes son malos para sus víctimas, pero no dan pasos activos para hacer cosas malas: en realidad no dan pasos activos para hacer nada, simplemente ocurren.

La selección natural, la lucha por la existencia tal como la denominó Darwin, significa que toda criatura viviente tiene enemigos que se esfuerzan para acabar con ella. Y a veces los trucos que los enemigos naturales utilizan tienen la apariencia de estar inteligentemente planeados. Las telas de araña, por ejemplo, son trampas ingeniosas diseñadas para atrapar insectos distraídos. Un

pequeño insecto llamado hormiga león construye trampas para que sus presas caigan en ellas.



La hormiga león se sienta al fondo de un agujero cónico que previamente ha cavado y se come a cualquier hormiga que caiga en el agujero. Nadie está sugiriendo que la araña o la hormiga león sean ingeniosas, que hayan *pensado* su trampa. Pero la selección natural les ha hecho cerebros evolucionados que *parecen* ingeniosos a nuestro entender. Del mismo modo, el cuerpo de un león parece ingeniosamente diseñado para saltar sobre el lomo de los antílopes y las cebras. Y podemos imaginar que si tú fueras un antílope, un león que acecha, persigue y salta podría parecer que va a por ti. Es fácil ver que los depredadores (los animales que matan y se comen a otros animales) trabajan para atrapar a su presa. Pero

también es cierto que las presas trabajan para evitar que sus depredadores las atrapen. Se esfuerzan para escapar de ser comidas, y si tienen éxito sus depredadores podrían morir de hambre. Lo mismo sucede entre los parásitos y sus huéspedes. También ocurre entre miembros de las mismas especies, que están real o potencialmente compitiendo unos con otros. Si la vida es fácil, la selección natural favorecerá la evolución de mejoras en los enemigos, ya sean depredadores, presas, parásitos, anfitriones o competidores: mejoras que harán que la vida de nuevo sea más dura. Los terremotos y los tornados son molestos e incluso podrían denominarse enemigos, pero no van «a por ti» de la misma forma que los depredadores y los parásitos.

Esto tiene consecuencias para el tipo de actitud mental que se espera de cualquier animal salvaje, como un antílope. Si tú eres un antílope y ves moverse la hierba alta, puede que se trate del viento. No es nada de lo que preocuparse, porque el viento no va a por ti: es completamente indiferentes para los antílopes y su bienestar. Pero el movimiento de la hierba alta podría ser un leopardo al acecho, y un leopardo es casi seguro que sí va a por ti: le gusta el sabor de tu carne y la selección natural favoreció a los antiguos leopardos para que fueran buenos cazadores de antílopes. Por tanto, los antílopes, y los conejos y muchos otros animales tienen que estar constantemente en alerta. El mundo está lleno de peligrosos de predadores y lo más seguro es pensar que parte de la ley de Murphy es cierta. Pongámoslo en palabras de Charles Darwin, en el lenguaje de la selección natural: aquellos animales individuales que actúan

como si creyeran que la ley de Murphy es cierta, tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse que aquellos que siguen la ley de Pollyanna.



Nuestros antepasados estaban casi todo el tiempo en peligro mortal por leones y cocodrilos, pitones y dientes de sable. Por eso es probable que decidieran adoptar una visión sospechosa —algunos podrían decir paranoica— del mundo, para ver una posible amenaza en cada movimiento de la hierba, en el ruido de cada rama, y asumir que había algo allí que iba a por ellos, un agente deliberado planeando matarlos. «Planeando» es una forma incorrecta de verlo si

piensas en ello como una intención deliberada, pero es fácil hacerse a la idea en el lenguaje de la selección natural: «Hay enemigos ahí fuera dotados por la selección natural para comportarse como si planearan matarme. El mundo no es neutral ni indiferente con mi bienestar. El mundo va a por mí. La ley de Murphy puede ser o no verdad, pero comportarse como si lo fuera es más seguro que comportarse como si la ley de Pollyanna fuera cierta».

Quizá ese es un motivo por el que, hasta el día de hoy, mucha gente mantiene creencias supersticiosas de que el mundo está en su contra. Cuando lo llevan al extremo, decimos que son «paranoicos».

§. Enfermedad y evolución: ¿una obra inacabada?

Como ya he dicho, los depredadores no son los únicos que nos acechan. Los parásitos son una amenaza más silenciosa, pero igual de peligrosa. Entre otros parásitos están la tenia y los nematodos, las bacterias y los virus, que viven a base de alimentarse de nuestros cuerpos. Los depredadores como los leones también comen cuerpos, pero la diferencia entre un depredador y un parásito suele estar clara. Los parásitos se alimentan de víctimas aún vivas (aunque a veces pueden matarlas), y suelen ser mucho más pequeños que sus víctimas. Los depredadores suelen ser mayores que sus víctimas (como un gato es mayor que un ratón), o si son más pequeños (como un león es más pequeño que una cebra) es por poco. Los depredadores matan a sus presas y después se las comen. Los parásitos se comen a sus víctimas de forma más lenta, y la

víctima puede seguir estando viva mucho tiempo con el parásito royéndola por dentro.

Los parásitos acostumbran a atacar en gran número, como cuando nuestro cuerpo sufre una infección masiva por fiebre o virus del resfriado. Los parásitos que son demasiado pequeños para verlos a simple vista se denominan a menudo «gérmenes», pero esa es una palabra algo imprecisa. Entre ellos están los virus, que son muy pequeños; las bacterias, que son mayores que los virus pero también muy pequeñas (hay virus que actúan como parásitos en las bacterias); y otros organismos unicelulares como el parásito de la malaria, que son mucho más grandes que las bacterias, pero, aun así, demasiado pequeños para verlos sin un microscopio. El lenguaje común no tiene un nombre general para estos parásitos mayores de una única célula. Algunos de ellos pueden denominarse «protozoos», pero este no es un término que los abarque a todos. Otros parásitos importantes son los hongos, por ejemplo, la tiña y el pie de atleta (cosas grandes como los champiñones o las setas dan una falsa impresión de cómo son la mayoría de los hongos).

Algunos ejemplos de enfermedades provocadas por bacterias son la tuberculosis, algunos tipos de neumonía, la tosferina, el cólera, la difteria, la lepra, la fiebre escarlata, la forunculosis y el tifus. Entre las enfermedades virales están el sarampión, la varicela, las paperas, la viruela, los herpes, la rabia, la polio, la rubeola, distintas variedades de gripe y el gran número de enfermedades que conocemos como «resfriado común». La malaria, la disentería y la enfermedad del sueño son algunas de las causadas por «protozoos»

Otros parásitos importantes, más grandes aún —suficientemente grandes como para verlos a simple vista— son los distintos tipos de gusanos, incluyendo los gusanos planos (platelmintos), los gusanos redondos (lombrices) y los trematodos. Cuando era niño vivía en una granja, y encontraba a menudo animales muertos como ratas o topos. Estaba aprendiendo biología en el colegio, y me atraía lo suficiente como para diseccionar esos pequeños cadáveres cuando los encontraba. Lo que más me impresionaba es que estaban llenos de gusanos vivos (lombrices, técnicamente llamadas nematodos). No había lo mismo en las ratas y conejos domesticados que nos daban para diseccionar en el colegio.



El cuerpo tiene un sistema muy ingenioso y habitualmente efectivo de defensa natural frente a los parásitos, denominado sistema inmunitario. El sistema inmunitario es tan complicado que llevaría un libro entero explicarlo. Brevemente, cuando detecta un parásito peligroso, el cuerpo se moviliza para producir células especiales que la sangre transporta a la batalla, como una especie de ejército hecho a medida para atacar a esos parásitos en particular. El sistema inmunitario suele vencer la batalla y la persona se recupera.

Después de eso, el sistema inmunitario «recuerda» el equipo molecular que ha desarrollado para esa batalla en particular y en posteriores infecciones del mismo tipo de parásito combatirán tan rápidamente que ni siquiera lo notaremos. Ese es el motivo por el que una vez que has pasado una enfermedad como las paperas, el sarampión o la varicela, ya es muy difícil que la vuelvas a padecer. La gente solía creer que era bueno que los niños tuvieran paperas, por ejemplo, porque la «memoria» del sistema inmunitario les protegería cuando fueran adultos, y las paperas son más problemáticas para los adultos (en especial para los hombres, porque ataca a los testículos) que para los niños. La vacunación es la ingeniosa técnica de hacer algo similar a eso. En lugar de tener que pasar la enfermedad, el médico te inyecta una versión debilitada de la misma, o quizá una inyección de gérmenes muertos, para estimular al sistema inmunitario sin que padezcas realmente la enfermedad. La versión debilitada es mucho menos nociva que la enfermedad real: de hecho, normalmente no notas nada. Pero el sistema inmunitario «recuerda» los gérmenes muertos, o la versión debilitada de la enfermedad, y así se prepara para luchar con ellos si alguna vez aparecen.

El sistema inmunitario tiene la difícil tarea de «decidir» quién es «extranjero» y, por tanto, a quién atacar (a un sospechoso de ser parásito) y quién debería ser aceptado como parte del propio cuerpo. Esto puede ser particularmente complicado, por ejemplo, con las mujeres embarazadas. El bebé que llevan dentro es un «extranjero» (los bebés no son genéticamente idénticos a sus madres, porque la

mitad de sus genes proceden del padre). Pero es importante que el sistema inmunitario no ataque al bebé. Ese fue uno de los problemas más difíciles de resolver cuando el embarazo evolucionó en los antepasados de los mamíferos. Al final se resolvió, y muchos bebés logran sobrevivir en el vientre de su madre lo suficiente como para llegar a nacer. Pero también hay muchos abortos, lo que quizá sugiere que a la evolución le ha costado resolver el asunto y que la solución aún no está completa. Incluso a día de hoy, muchos bebés sobreviven únicamente porque los médicos se encargan de ellos, por ejemplo, cambiándoles completamente la sangre en el mismo momento en que nacen, en algunos casos de sobreactuación del sistema inmunitario.

Otra forma en la que el sistema inmunitario puede equivocarse es cuando lucha con demasiada fuerza contra un supuesto «agresor». Eso es lo que son las alergias: el sistema inmunitario lucha, sin necesidad, con un gasto extremo y hasta dañando al cuerpo, contra cosas que no son dañinas. Por ejemplo, el polen en el aire no suele ser dañino, pero el sistema inmunitario de algunas personas sobreactúa contra él, y eso es lo que ocurre cuando tienes una reacción alérgica denominada «fiebre del heno»: no paras de estornudar y te lloran los ojos, lo que es muy incómodo. Hay gente que es alérgica a los gatos o a los perros: sus sistemas inmunitarios sobreactúan contra moléculas inocuas que están en el pelo de dichos animales. Las alergias pueden ser a veces muy peligrosas. Hay gente tan alérgica a los cacahuetes que con solo comer uno de ellos pueden llegar a morir.

A veces una sobreactuación del sistema inmunitario va hasta tal punto que la persona se convierte en alérgica ¡a sí misma! Esto provoca las denominadas enfermedades autoinmunes. Algunos ejemplos de enfermedades autoinmunes son la alopecia (se te cae el pelo porque el cuerpo ataca a tus propios folículos capilares) y la psoriasis (una sobreactuación del sistema inmune que causa erupciones en la piel).

No es extraño que el sistema inmunitario sobreactúe a veces, porque hay una línea muy fina entre fallar el ataque cuando deberías y atacar cuando no deberías. Es el mismo problema que vemos en un antílope tratando de decidir si corre para huir de un león en la hierba alta. ¿O es un leopardo? ¿O un movimiento inofensivo del viento? ¿Es una bacteria peligrosa o es un grano de polen inofensivo? No dejo de preguntarme si la gente con sistemas inmunitarios hiperactivos, que pagan esos excesos con alergias o incluso con enfermedades autoinmunes, podría tener menos probabilidades de sufrir ciertos tipos de virus y otros parásitos.

Estos problemas de «equilibrio» son muy comunes. También es posible tener demasiada «aversión al riesgo», tratar cada movimiento de la hierba como peligroso, o lanzar una respuesta inmunitaria masiva a un cacahuete inofensivo, o a los tejidos del propio cuerpo. Y también es posible ser demasiado confiado, fallar en la respuesta al peligro cuando es muy real, o fallar al crear una respuesta inmunitaria cuando hay un parásito realmente peligroso. Es difícil trazar la línea, y se sufren castigos cuando la sobrepasamos en uno u otro sentido.

Los cánceres son un caso especial de algo malo que ocurre: extraño, pero muy importante. Un cáncer es un grupo de nuestras propias células que han dejado de hacer lo que se suponía que tenían que hacer en el cuerpo, y se convierten en parásitos. Las células cancerígenas suelen agruparse juntas, formando un «tumor» que crece sin control, alimentándose de partes del cuerpo. Los peores cánceres se trasladan a otras partes del cuerpo (lo que se denomina metástasis) y pueden llegar a matarlas. Los tumores que hacen eso se denominan malignos.

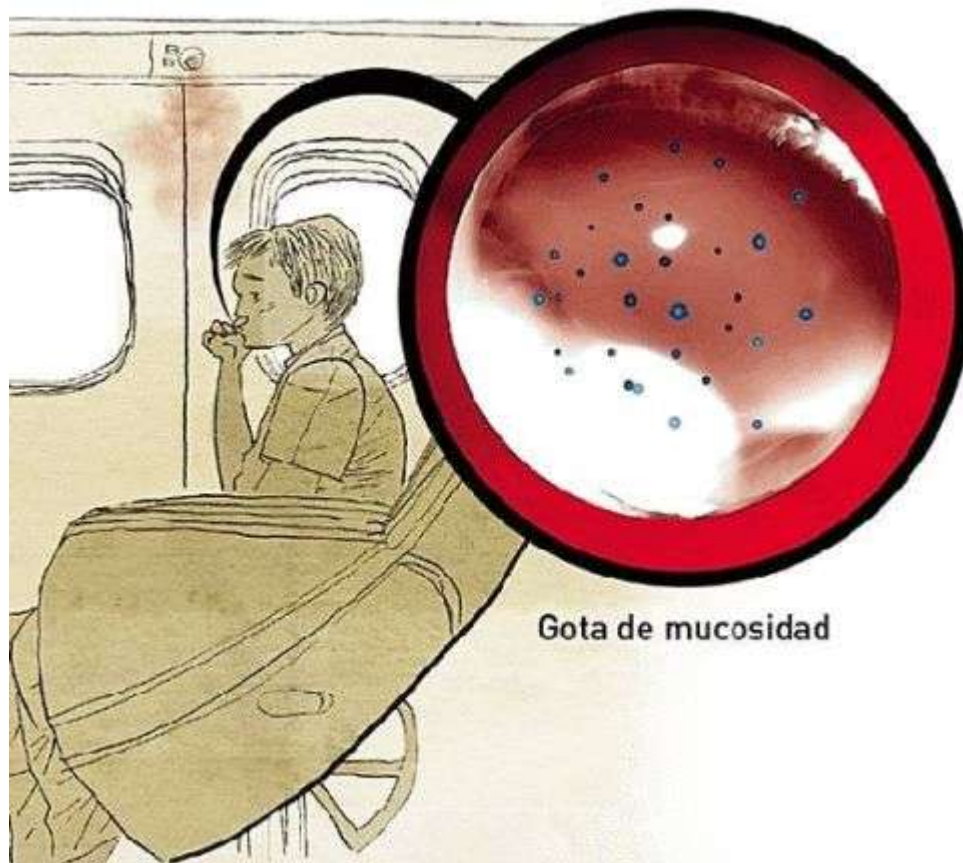
El motivo por el que los cánceres son tan peligrosos es que sus células están derivadas directamente de las propias células del cuerpo. Son nuestras propias células ligeramente modificadas. Esto significa que al sistema inmunitario le cuesta mucho trabajo reconocerlas como extraños. También significa que es muy difícil encontrar un tratamiento que acabe con el cáncer, porque cualquier tratamiento en el que podamos pensar —como un veneno, por ejemplo—, probablemente mataría también a nuestras células sanas. Es mucho más fácil matar bacterias, porque las células de las bacterias son distintas de las nuestras. El veneno que mata las células de la bacteria, pero no nuestras propias células se denomina antibiótico. La quimioterapia envenena a las células cancerígenas, pero también envenena al resto del cuerpo, porque nuestras células son muy similares. Si nos excedemos con la dosis del veneno, podemos matar al cáncer, pero matar también al pobre paciente.

Volvemos a tener el mismo problema de encontrar un equilibrio entre atacar a los auténticos enemigos (las células cancerígenas) y

no atacar a los amigos (nuestras propias células normales): de nuevo el problema del leopardo en la hierba alta.

Permíteme que termine este capítulo con una especulación. ¿Es posible que las enfermedades autoinmunes sean una especie de subproducto de una guerra evolutiva, a lo largo de muchas generaciones, contra el cáncer?

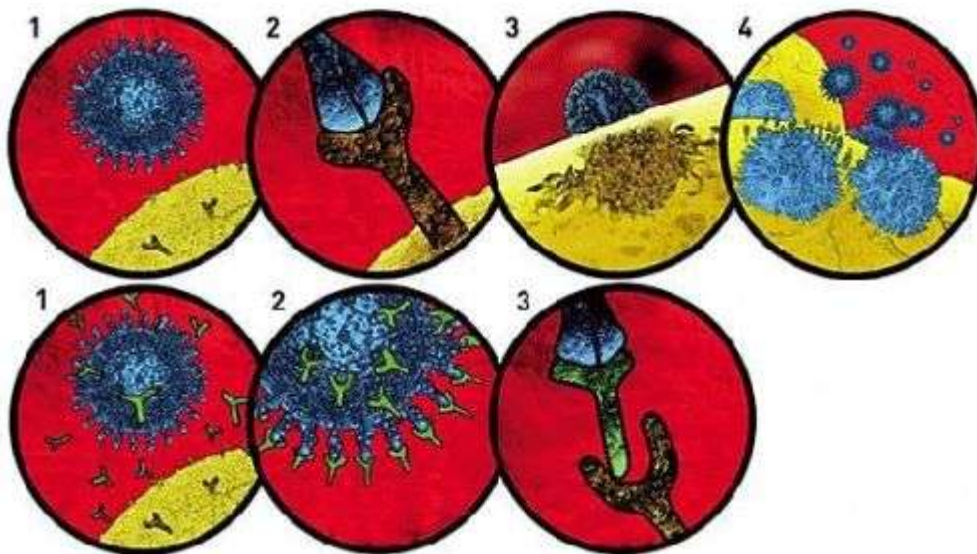
Cómo gestiona el sistema inmunitario un intento de ataque por un virus de la gripe (abajo).



El sistema inmunitario gana muchas batallas frente a las células pre cancerígenas, sorprendiéndolas antes de que tengan la oportunidad de convertirse en realmente malignas. Mi sugerencia es

que, en su constante vigilancia frente a las células pre cancerígenas, el sistema inmunitario a veces se excede, y ataca a tejidos inocuos del cuerpo, y eso es lo que denominamos enfermedad autoinmune. ¿Es posible que la explicación de las enfermedades autoinmunes sea que se trata de una prueba del trabajo evolutivo en busca de un arma efectiva contra el cáncer?

¿Tú qué crees?



La secuencia de arriba muestra un ataque exitoso. El virus de la gripe se acerca a una célula (1). La llave del virus se introduce en la cerradura de la célula (el receptor en la superficie de la célula) (2), de forma que al virus se le permite entrar en la célula (3) donde se multiplica. Por último (4), cientos de virus replicados salen de la célula infectada. La secuencia de abajo muestra al sistema inmunitario rechazando el ataque. Los anticuerpos del sistema inmunitario se acercan al virus (1)

y se pegan a él (2) Ahora el virus ya no encaja en la cerradura de la célula (3) de forma que no puede entrar a en ella.

Capítulo 12

¿Qué es un milagro?

*Contenido:*

- §. Rumor, coincidencia e historias aumentadas*
- §. Una buena forma de pensar en los milagros*
- §. Los milagros de hoy, la tecnología de mañana*

En el primer capítulo de este libro hablé sobre magia, y separé la magia sobrenatural (recitar un conjuro para convertir a una rana en un príncipe o frotar una lámpara para invocar a un genio) de los trucos de escenario (ilusiones, como un pañuelo de seda que se convierte en un conejo o una mujer a la que se corta por la mitad). Hoy en día nadie cree en la magia de los cuentos de hadas. Todo el mundo sabe que las calabazas se convierten en carruajes.

únicamente en *Cenicienta*. Y todos sabemos que los conejos salen de chisteras aparentemente vacías tan solo gracias a un truco. Pero hay algunos cuentos sobrenaturales que siguen tomándose en serio, y esos «sucesos» que relatan suelen denominarse milagros. En este capítulo hablaremos de milagros, historias de acontecimientos sobrenaturales que mucha gente cree, a diferencia de los conjuros de los cuentos de hadas, que nadie cree, o de los trucos del escenario, que parecen magia, pero sabemos que son falsos.

Algunos de estos cuentos hablan de fantasmas, otros son leyendas urbanas y otros, historias de extrañas coincidencias, historias como «soñé con una famosa en la que no había pensado durante años y a la mañana siguiente escuché que había muerto esa misma noche» Otros muchos proceden de los cientos de religiones que hay por todo el mundo, y esos en concreto suelen llamarse milagros. Por poner un ejemplo, hay una leyenda de hace unos 2000 años en la que un predicador judío llamado Jesús estaba en una boda en la que se agotó el vino. Él pidió agua y utilizó poderes milagrosos para convertirla en vino, en vino muy bueno, tal como nos dice la historia. La gente que se reía con la idea de que una calabaza se pudiera convertir en un carruaje, y que sabe perfectamente que los pañuelos de seda no se convierten en conejos, sí cree, por contra, que un profeta convirtió el agua en vino, o como los devotos de otra religión podrían contarlo, voló hasta el cielo en un caballo con alas.



§. Rumor, coincidencia e historias aumentadas

Normalmente cuando escuchamos la historia de un milagro no lo hacemos de un testigo presencial, sino de alguien que ha oído esa historia de alguna otra persona, que a su vez la oyó de una que la oyó de la prima de una amiga de la esposa de otra..., y cualquier historia que haya pasado por el suficiente número de personas termina desvirtuada. La fuente original de la historia suele ser también un rumor que empezó hace tanto tiempo y se distorsionó tanto en los distintos pasos que es prácticamente imposible adivinar qué suceso —si es que hubo alguno— la inició.

Tras la muerte de alguna persona famosa, héroe o villano, surgen por todo el mundo historias de que se le ha visto vivo por ahí. Esto

ocurrió con Elvis Presley, con Marilyn Monroe, e incluso con Adolf Hitler. Es difícil entender por qué a la gente le gusta transmitir este tipo de rumores cuando los escuchan, pero el caso es que lo hacen, y eso es en gran parte el motivo por el que los rumores se extienden. Este es un ejemplo reciente de cómo se inician esos rumores. Poco

después de la muerte del popular cantante Michael Jackson, en 2009, el equipo de una cadena de televisión americana realizó una visita guiada en su famosa mansión, llamada Neverland. En una escena de la película que grabaron, la gente creyó ver a su fantasma al final de un largo pasillo. Yo he visto esa grabación y no me convence para nada; no obstante, fue suficiente como para iniciar esos rumores que luego se han extendido. ¡El fantasma de Michael Jackson anda suelto!



Pronto surgieron multitud de imitaciones. Por ejemplo, en la página anterior puedes ver una fotografía que tomó un hombre de la superficie pulida de su coche. Para ti y para mí, especialmente cuando comparamos la «cara» con las otras nubes, lo que vemos es obviamente el reflejo de una nube, pero para la calenturienta imaginación del devoto seguidor tan solo podía ser el fantasma de

Michael Jackson, y la imagen ha recibido ¡más de 15 millones de visitas en YouTube!

En realidad, hay algo interesante en todo esto que merece la pena comentar. Los humanos somos animales sociales, por tanto, el cerebro humano está pre programado para ver las caras de otros humanos, incluso donde no las hay. Es por eso que la gente imagina a menudo que ven caras en patrones aleatorios hechos por las nubes, en tostadas de pan o en manchas de humedad en la pared.

Las historias de fantasmas que ponen la piel de gallina son divertidas de contar, especialmente si dan mucho miedo, e incluso más si aseguramos que son ciertas. Cuando yo tenía ocho años, mi familia vivió brevemente en una casa llamada Cuckoos, de unos 400 años de antigüedad, con vigas Tudor negras que no paraban de moverse. No es de extrañar que la casa tuviera una leyenda sobre un predicador muerto muchos años atrás, oculto en un pasaje secreto. La historia decía que se podían escuchar sus pasos en las escaleras, pero con el añadido de que un paso se oía mucho más, y la espeluznante explicación era que en el siglo XVI ¡la escalera tenía un escalón más! Recuerdo el placer que sentía al contarle la historia a mis compañeros del colegio. Nunca se me ocurrió preguntarme si había alguna evidencia. Bastaba con que la casa era antigua, y mis amigos quedaban impresionados.

A la gente le emociona transmitir historias de fantasmas. Y lo mismo ocurre con los relatos de milagros. Si en un libro aparece un

rumor de un milagro, dicho rumor es difícil de cuestionar, sobre todo si el libro es antiguo.

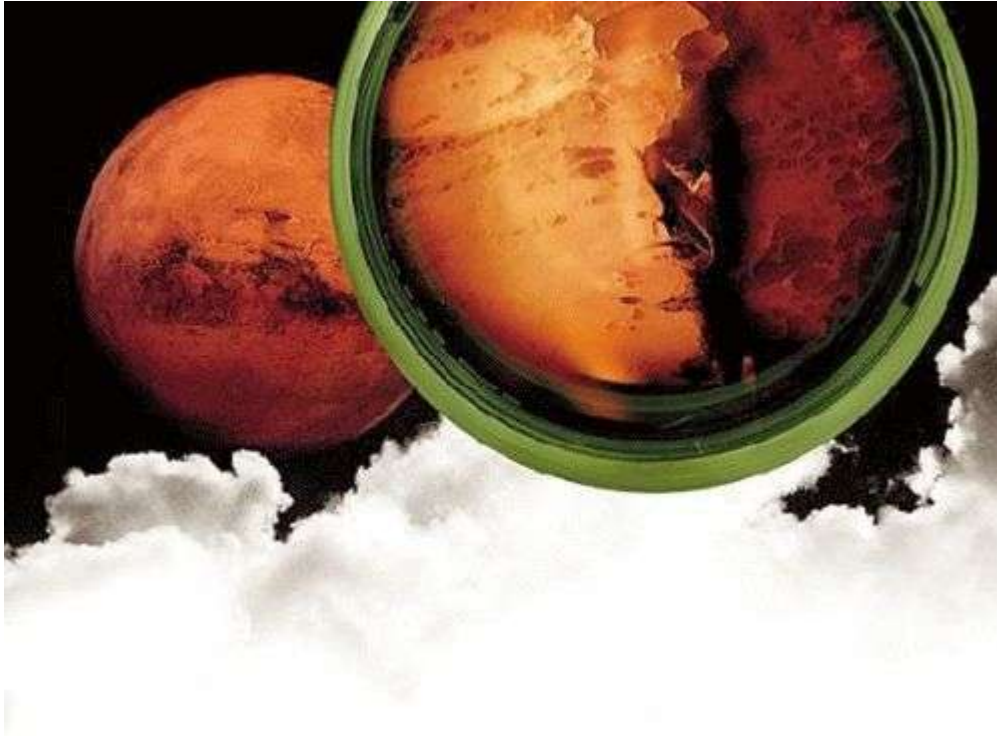


Si un rumor es lo suficientemente antiguo, comienza a denominarse «tradición», y después la gente termina por creerlo. Es curioso, porque podrías pensar que los rumores más antiguos serían ciertos porque han tenido más tiempo para distorsionarse que los rumores más modernos, demasiado cercanos al suceso al que aluden. Elvis Presley y Michael Jackson vivieron hace demasiado poco como para que sus tradiciones hayan crecido, y por eso no hay tanta gente que

crea historias como: «Se ha visto a Elvis en Marte». Pero quizá dentro de 2000 años...

¿Y esas extrañas historias que la gente cuenta sobre haber soñado con alguien al que no han visto ni recordado en años y, después, al despertar, encuentran una carta de esa persona en el felpudo? ¿O los que se despiertan y leen que la persona ha fallecido esa noche? Puede que incluso tú hayas experimentado algo similar. ¿Cómo podemos explicar coincidencias de ese tipo?

Bueno, la explicación más probable es que son exactamente eso: coincidencias, y nada más. La clave es que solo nos molestamos en contar historias cuando suceden coincidencias extrañas, y no cuando no ocurren. Nadie dice: «Anoche soñé con un primo al que no había visto durante años, y a la mañana siguiente desperté y resulta que *no había muerto esa noche*».

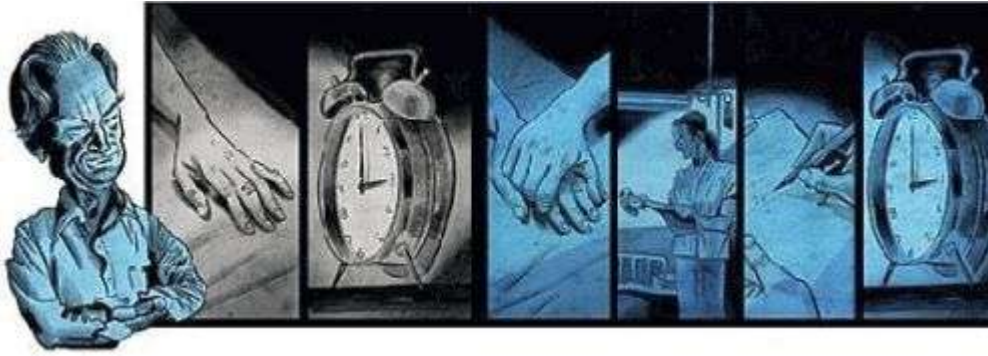


Cuanto más espeluznante sea la coincidencia, más probable es que se extiendan las noticias sobre la misma. A veces impresiona tanto a alguien que envía enseguida una carta a un periódico. Quizá ha soñado, por primera vez en su vida, con alguna famosa actriz del pasado, y después ha despertado y ha descubierto que ha muerto esta noche. Una visita de despedida en un sueño; ¡qué espeluznante! Pero simplemente piensa por un momento lo que ha ocurrido en realidad. Para que una coincidencia aparezca en un periódico, basta con que la haya experimentado una sola persona de entre los millones de lectores que podrían haber escrito al periódico. Si nos centramos únicamente en Gran Bretaña, unas 2000 personas mueren cada día, y debe de haber cien millones de sueños cada noche. Si lo piensas de esa forma, es normal que de vez en

cuando alguien se despierte y descubra que la persona con la que ha soñado ha muerto esa noche. Son estos los únicos que envían cartas al periódico.

También sucede que las historias van creciendo a medida que pasan de boca en boca. A la gente le gusta tanto una buena historia que la embellecen para hacerla aún mejor de como se la contaron. Es tan divertido ponerle a la gente la piel de gallina que exageramos la historia, solo un poquito, para hacerla algo más colorida, y después la siguiente persona por la que pasa la exagera un poquito más, y así una tras otra. Por ejemplo, si te has despertado y has descubierto que alguien famoso ha muerto esa noche, puedes investigar para descubrir exactamente cuándo murió. La respuesta podría ser: «Debe de haber muerto *aproximadamente* a las tres de la mañana». Después lo mejoras suponiendo que tú podías haber estado soñando con ella *alrededor de* las tres de la mañana. Y antes de que te des cuenta, el «aproximadamente» y el «alrededor de» desaparecen de la historia hasta que se convierte en: «Murió *exactamente* a las tres de la mañana, y ese fue el momento exacto en el que la nieta de la mujer del amigo de mi primo estaba soñando con ella».

A veces podemos conectar la explicación con una extraña coincidencia. Un gran científico estadounidense, llamado Richard Feynman, perdió trágicamente a su esposa por un cáncer, y el reloj de su dormitorio se detuvo en el preciso instante en el que ella murió. ¡La piel de gallina!



Pero el doctor Feynman no era un gran científico por casualidad. Estudió una explicación razonable. El reloj estaba fallando. Si lo cogía y lo agitaba tendía a pararse. Cuando la señora Feynman murió, la enfermera necesitaba apuntar la hora para el certificado oficial de defunción. La habitación estaba a oscuras, así que cogió el reloj y lo acercó hacia la ventana para poder verlo. Y ese fue el momento en el que el reloj se detuvo. No fue en absoluto un milagro, solo un mecanismo que falló.

Incluso si no hubiera existido esta explicación, incluso si la cuerda del reloj se hubiera acabado en el momento exacto en el que la señora Feynman murió, tampoco debería impresionarnos tanto. Es indudable que en algún minuto del día o de la noche, muchos relojes en Estados Unidos se detienen. Y mucha gente muere cada día. Para repetir mi argumento anterior, no esperaremos ver en las noticias «Mi reloj se detuvo exactamente a las 16:50, y (¿puedes creerlo?) *nadie murió*».

Uno de los charlatanes que mencioné en el capítulo sobre la magia presumía de poner en marcha relojes con el «poder de la mente» Invitaría a su gran audiencia televisiva a buscar por su casa algún

reloj parado y a mantenerlo en la mano mientras él trataba de ponerlo en marcha a distancia con el poder de la mente. Casi de inmediato el teléfono del estudio sonaría y una voz sin aliento desde el otro extremo anunciaría que el reloj había vuelto a funcionar.

Parte de la explicación podría ser similar al caso del reloj de la señora Feynman. Probablemente, ocurre menos con los modernos relojes digitales, pero en los tiempos en los que estos tenían cuerda, con el simple hecho de coger un reloj parado a veces volvía a funcionar porque el movimiento de la mano activaba la espiral.



Esto puede ocurrir con más facilidad si el reloj se calienta un poco, y el calor de una mano puede ser suficiente para hacerlo; no es muy

frecuente, pero tampoco tiene que serlo cuando tienes a 10 000 personas por todo el país con un reloj parado en la mano, quizá agitándolo y apretándolo entre sus manos calientes. Tan solo con que uno de los 10 000 relojes se ponga en marcha, su propietario cogerá el teléfono para comunicarlo con gran excitación y para impresionar a toda la audiencia televisiva. Nunca escuchamos nada sobre los 9999 relojes que no se pusieron en marcha.

§. Una buena forma de pensar en los milagros

Hubo un famoso pensador escocés en el siglo XVIII llamado David Hume que planteó un razonamiento inteligente sobre los milagros. Comenzó por definir un milagro como una «transgresión» (o rotura) de una ley de la naturaleza. Caminar sobre el agua, o convertir el agua en vino, o arrancar o detener un reloj con el poder de la mente o convertir a una rana en príncipe serían buenos ejemplos de rotura de una ley de la naturaleza. Milagros de ese tipo serían inquietantes, incluso para la ciencia, por los motivos que expliqué en el capítulo sobre la magia. Inquietantes *si* hubieran ocurrido, quiero decir. ¿Cómo deberíamos responder entonces a las historias sobre milagros? Esa fue la pregunta que se planteó Hume; y su respuesta fue el razonamiento inteligente que he mencionado.

Las palabras que utilizó Hume aún se conservan, aunque la traducción no es exacta porque su inglés es de hace más de 200 años:

Ningún testimonio es suficiente para establecer un milagro, a menos que el testimonio sea de tal tipo que su falsedad resulte más milagrosa que el hecho que trata de establecer.

Permíteme que exponga el argumento de Hume con otras palabras. Si Juan te cuenta una historia milagrosa, solo debes creerla si resulta más milagroso aún que sea una mentira (o un error o una ilusión) Por ejemplo, podrías decir: «Apostaría mi vida a que Juan dice la verdad, él *nunca* miente, sería un *milagro* que Juan dijera una mentira». Eso está bien y es razonable, pero Hume habría dicho algo como esto: «Por improbable que pueda ser que Juan diga una mentira, ¿es realmente más improbable que el milagro que asegura haber visto?». Supón que Juan asegura haber visto una vaca saltar por encima de la luna. No importa la confianza ni la honestidad habitual de Juan, la idea de él diciendo una mentira (o teniendo una alucinación honesta) sería menos milagrosa que una vaca literalmente saltando por encima de la luna. Así que preferirías la explicación de que Juan estaba mintiendo (o se había equivocado). Este es un ejemplo extremo e imaginario. Veamos ahora algo que sí ocurrió en realidad para comprobar la idea de Hume. En 1917, dos primas inglesas llamadas Frances Griffiths y Elsie Wright hicieron unas fotografías de lo que dijeron que eran hadas. Arriba puedes ver una de las fotografías de Elsie posando con sus «hadas».



Podrías pensar que la fotografía es un truco obvio, pero en aquella época, cuando la fotografía era aún algo muy nuevo, incluso el gran autor *sir* Arthur Conan Doyle, creador del famosísimo Sherlock Holmes, creyó el engaño, y también mucha otra gente. Años más tarde, cuando Frances y Elsie eran ancianas, por fin admitieron que esas «hadas» no eran más que recortes de cartulina. Pero pensemos como Hume y tratemos de averiguar por qué Conan Doyle y el resto deberían haber acertado y no caer en el truco. ¿Cuál de las dos siguientes posibilidades crees que sería más milagrosa, si fuera cierta?

1. Eran realmente hadas, gente pequeñita con alas, volando entre las flores.
2. Elsie y Frances recortaron las cartulinas y falsearon las fotografías.

No hay lugar a duda, ¿o sí? Los niños juegan a inventar cosas todo el tiempo, y eso es fácil de hacer. Incluso aunque fuera difícil, incluso aunque sintieras que conocías muy bien a Elsie y Frances y siempre hubieran sido chicas completamente sinceras, que nunca pensarían en hacer un truco similar; incluso si las chicas hubieran tomado una droga de la verdad y hubieran pasado sin problemas el detector de mentiras; incluso si con todo esto junto fuera un *milagro* que dijeran una mentira, ¿qué habría dicho Hume? Él habría dicho que el «milagro» de que ellas mintieran sería un milagro *menor* que el de las hadas que aseguraban haber visto.

Elsie y Frances no hicieron ningún daño serio con su broma, y hasta resulta gracioso que llegaran a engañar al propio Conan Doyle. Pero a veces este tipo de trucos de jovencitas no son asuntos de risa, por decirlo de manera suave. Volviendo al siglo XVII, en un pueblo de Nueva Inglaterra llamado Salem, un grupo de jovencitas se obsesionaron histéricamente con las «brujas», y comenzaron a imaginar, o crear, todo tipo de cosas que, por desgracia, los muy supersticiosos adultos de la comunidad creyeron. Muchas mujeres mayores y también algunos hombres fueron acusados de ser brujas en connivencia con el diablo, y de haber hecho conjuros a las niñas, que dijeron haberlas visto volando por el aire y haciendo algunas otras cosas extrañas que se creía que solían hacer las brujas. Las consecuencias fueron muy serias: el testimonio de las niñas envió a cerca de veinte personas a la horca. Incluso un hombre fue lapidado en una ceremonia, algo horrible para una persona inocente,

simplemente porque un grupo de niñas se habían inventado unas historias sobre él. No logro entender por qué hicieron aquello. ¿Quizá porque intentaban impresionarse unas a las otras? ¿Pudo haber sido algo parecido al «ciber acoso» que se perpetra en la actualidad a través del correo electrónico y las redes sociales? ¿O realmente creyeron sus propias historias?



Volvamos a las historias sobre milagros en general y a cómo se iniciaron. Quizá el ejemplo más famoso de jovencitas diciendo cosas extrañas y siendo creídas es el denominado milagro de Fátima. En 1917, en Fátima, Portugal, una niña de 10 años llamada Lucía, acompañada por sus dos jóvenes primos Francisco y Jacinta, aseguró haber tenido una visión en una colina. Los niños dijeron que la colina había recibido la visita de una mujer llamada la «Virgen María», muerta mucho tiempo atrás y que se había convertido en una especie de diosa de la religión local. Según Lucía, la fantasmagórica María le habló y les dijo a ella y a los otros niños que seguiría volviendo el día 13 de cada mes, hasta el 13 de octubre, día en el que realizaría un milagro para demostrar que era quien decía ser. Los rumores del supuesto milagro se extendieron

por todo Portugal, y en el día señalado una ingente cantidad de más de 70 000 personas se acercó para ver el milagro. El milagro, cuando llegara, tendría que ver con el sol. Los relatos sobre qué se supone que hizo exactamente el sol difieren unos de otros. Para algunos testigos pareció que «bailaba», para otros giraba como una rueda pirotécnica. El relato más dramático asegura que

... el sol pareció desplomarse del cielo y precipitarse sobre la aterrada multitud... Justo cuando parecía que la bola de fuego iba a caerles encima y destrozarlos, el milagro cesó, y el sol volvió a su lugar habitual en el cielo, brillando tan pacífico como siempre.

Entonces, ¿qué creemos que ocurrió realmente? ¿Hubo realmente un milagro en Fátima? ¿Apareció realmente la fantasmagórica María? Curiosamente, era invisible para todo el mundo, salvo para los tres niños, por lo que no tenemos que tomarnos esa parte de la historia demasiado en serio. Pero se supone que el milagro del sol moviéndose lo vieron 70 000 personas, así que, ¿cómo hacemos ahora? ¿Se movió realmente el sol (o se movió la Tierra con relación a él, de manera que el sol pareció moverse)? Pensemos como Hume. Estas son tres posibilidades a tener en cuenta.

1. El sol realmente se movió por el cielo y se dirigió hacia la multitud aterrada antes de volver a su posición anterior. (O la Tierra cambió su patrón de rotación de tal forma que pareció como si el sol se hubiera movido).

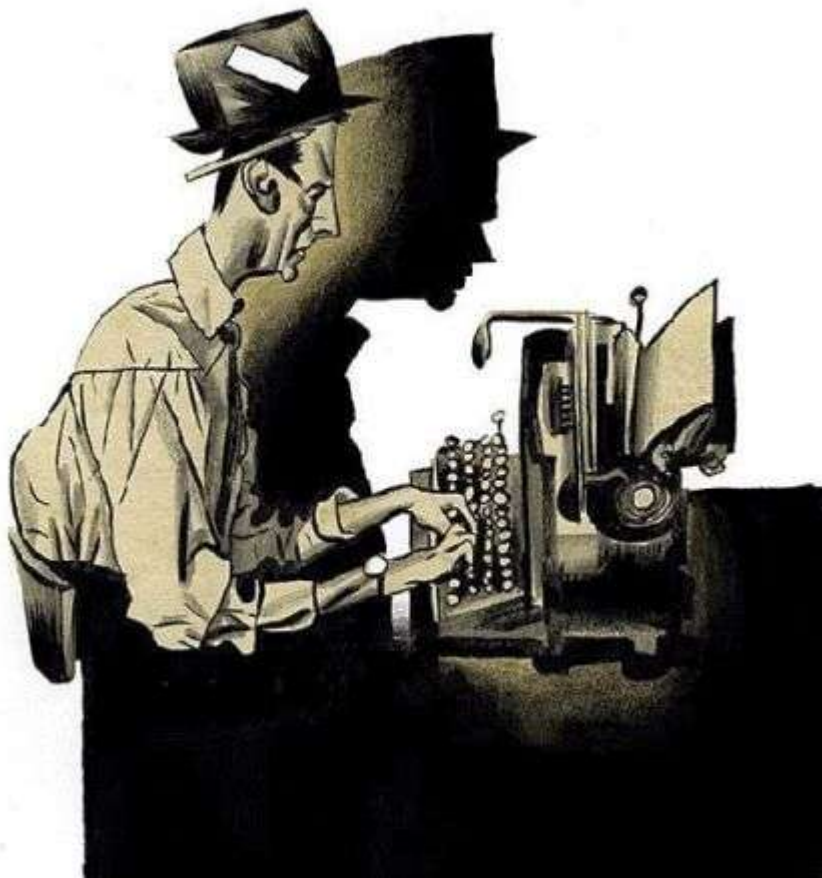
2. Ni el sol ni la Tierra se movieron en realidad, y 70 000 personas simultáneamente experimentaron una alucinación.
3. No ocurrió nada en absoluto, y todo el incidente se exageró o simplemente se inventó por completo.



¿Cuál de estas posibilidades crees que es la más plausible? Las tres parecen bastante improbables. Pero seguramente la posibilidad 3 es la menos improbable con diferencia, la que menos merece el título de milagro. Para aceptar la posibilidad 3 solo tenemos que creer que alguien contó una mentira que implicaba a 70 000 personas viendo el sol moverse, y la mentira se fue repitiendo y se extendió igual que cualquier leyenda urbana que recorre Internet en la actualidad. La posibilidad 2 es menos probable. Requiere que creamos que 70 000 personas simultáneamente experimentaron una alucinación con el sol. Bastante improbable. Pero por poco probable que sea —casi milagrosa—, la posibilidad 2 es mucho menos milagrosa que la posibilidad 1.

El sol es visible durante el día en la mitad del planeta, no solo en ese pueblo de Portugal. Si realmente se hubiera movido, millones de personas en todo el hemisferio —no solo en Fátima— se habrían

aterrado con esa visión. De hecho, el caso contra la posibilidad 1 es aún mayor que eso. Si el sol realmente se *hubiera* movido a la velocidad que aseguran —en dirección hacia la multitud— o si algo hubiera hecho cambiar la rotación de la Tierra lo suficiente como para que pareciera que el sol se había movido a esa velocidad tan colosal, habría sido el final catastrófico para todos nosotros.



O la Tierra se habría salido de su órbita y ahora sería un planeta sin vida, una roca fría volando por el oscuro vacío, o habríamos caído dentro del sol y nos habríamos frito. Recuerda del Capítulo 5 que la Tierra está rotando a una velocidad de muchos miles de kilómetros

por hora (1600 kilómetros por hora si lo medimos en el ecuador), pero el movimiento aparente del sol sigue siendo muy lento para nosotros porque está muy lejos. Si de pronto el sol y la Tierra se movieran uno en dirección al otro, lo suficientemente deprisa para que una multitud viera al sol «cayendo» hacia ellos, el movimiento real tendría que haber sido miles de veces más rápido de lo habitual, y literalmente habría sido el fin del mundo.

Se dice que Lucía le pidió a su audiencia que mirara hacia el sol. Esto es algo bastante estúpido, por cierto, porque podría dañar sus ojos de forma permanente. Eso también pudo haber inducido una alucinación de que el sol se movía en el cielo. Incluso con que una sola persona hubiera alucinado, o hubiera mentido diciendo que el sol se movía, y se lo hubiera dicho a otra, que a su vez hubiera dicho a otra, que se hubiera dicho a muchos otros, cada uno de los cuales lo contaría a mucha más gente... eso sería suficiente para iniciar un rumor popular. Quizá una de esas personas que escuchó el rumor llegó a escribirlo. Pero tanto si es eso lo que ocurrió como si no, no es lo que le importa a Hume. Lo que importa es que por muy imposible que pueda ser o no que 70 000 testigos estén equivocados, es mucho menos posible que el sol se mueva de esa forma.

Hume nunca dijo que los milagros fueran imposibles. Solo nos pidió que pensáramos en un milagro como un evento improbable, un elemento cuya improbabilidad pudiéramos estimar. La estimación no tenía por qué ser exacta. Es suficiente con que la improbabilidad

de un milagro pueda ubicarse en algún tipo de escala, y después compararla con una alternativa como la alucinación o la mentira.

Volvamos al juego de cartas del que hablé en el primer capítulo. Recordarás que imaginamos a cuatro jugadores que recibieron una mano perfecta: todo picas, todo corazones, todo diamantes, todo tréboles. Si realmente ocurrió, ¿qué pensaríamos de ello? De nuevo podemos anotar tres posibilidades.

1. Hubo un milagro sobrenatural, perpetrado por algún brujo, mago o dios con poderes especiales, que violó las leyes de la ciencia para cambiar todos los corazones, picas, tréboles y diamantes de las cartas, de manera que se ubicaran perfectamente en la mano.
2. Es una casualidad impresionante. Al barajar las cartas se produjo esta mano perfecta.
3. Alguien realizó un truco muy inteligente, quizá sustituyendo la baraja por otra escondida bajo la manga en la que las cartas habían sido ordenadas para que salieran así.



Y ahora, ¿qué crees tú, basándote en la suposición de Hume? Cada una de las tres posibilidades puede resultar difícil de creer. Pero la

posibilidad 3 es con mucho la más fácil de creer. La posibilidad 2 podría haberse dado, pero hemos calculado lo improbable que es, y de hecho es muy muy muy improbable: 53 644 737 765 488 792 839 237 440 000 contra 1. No podemos calcular lo rara que resulta la probabilidad 1 con esta precisión, pero simplemente piensa en ello: algún poder o fuerza que nunca ha sido demostrado y que nadie entiende manipuló docenas de cartas imprimiendo en ellas tinta roja y negra a la vez. Quizá te cueste utilizar una palabra tan fuerte como «imposible», pero Hume no te pide que hagas eso: lo único que dice es que la compares con las alternativas, que en este caso son un truco de manos y un gigantesco golpe de suerte. ¿No hemos visto todos algún truco (por cierto, normalmente de cartas) tan impresionante como este? Es obvio que la explicación más probable para la mano perfecta no es la suerte pura, ni mucho menos una interferencia milagrosa con las leyes del universo, sino el truco de un mago o de un crupier deshonesto.

Veamos ahora otra famosa historia sobre milagros, la que mencioné antes sobre el predicador judío llamado Jesús que convirtió el agua en vino. Una vez más podemos ver tres tipos principales de explicación posible.

1. Realmente ocurrió. El agua se convirtió realmente en vino.
2. Fue un truco inteligente.
3. No pasó nada de eso. Es solamente una historia, un elemento de ficción que alguien creó. O hubo un malentendido con algo mucho menos importante, que es lo que realmente ocurrió.

Yo no tengo duda sobre mi orden de preferencias aquí. Si la explicación 1 fuera cierta, violaría algunos de los principios más profundos de la ciencia que conocemos, por el mismo tipo de motivo que vimos en el primer capítulo, cuando hablamos sobre calabazas que se convertían en carruajes o ranas en príncipes. Las moléculas de agua pura tendrían que haberse transformado en una compleja mezcla de moléculas, incluyendo alcohol, taninos, azúcares de distintos tipos y muchas otras cosas. Las explicaciones alternativas tendrían que ser muy improbables si eligiéramos ésta por encima de las demás.

El truco de magia es posible (se han hecho trucos mucho más inteligentes en un escenario y en televisión), pero menos probable que la explicación 3. ¿Por qué molestarse siquiera en sugerir un truco, cuando no hay pruebas de que el incidente ocurriera en absoluto? ¿Por qué pensar en un truco cuando la explicación 3 es en comparación mucho más convincente? Alguien se inventó la historia. La gente inventa historias todo el tiempo. En eso consiste la ficción. Porque es muy verosímil que la historia sea ficción, no necesitamos complicarnos en pensar en trucos de magia ni mucho menos en milagros reales que violan las leyes de la ciencia y tiran por tierra todo lo que sabemos y entendemos sobre el funcionamiento del universo.



Da la casualidad de que sabemos que se ha creado gran cantidad de ficción alrededor de este predicador llamado Jesús. Por ejemplo, hay una canción muy bonita llamada *Cherry Tree Carol* que quizá hayas escuchado o cantado alguna vez. Habla de cuando Jesús estaba aún en el vientre de su madre María (que, por cierto, es la misma María de la historia de Fátima) y ella caminaba con su marido José cerca de un árbol de cerezas. María quiso coger algunas cerezas, pero estaban tan altas en el árbol que no pudo alcanzarlas. José no tenía ganas de trepar al árbol, pero...

Habló Jesús desde el vientre de María:

Inclínate tú, la rama más alta,

*para que mi madre pueda coger alguna.
Inclínate tú, la rama más alta,
para que mi madre pueda coger alguna.*

*Y se inclinó la rama más alta
hasta tocar la mano de María.
Y ella gritó: «Mira, José,
tengo cerezas por doquier».
Y ella gritó: «Mira, José,
tengo cerezas por doquier».*

La historia del árbol de las cerezas no aparece en ningún libro sagrado antiguo. Nadie, literalmente nadie, por mucho que sepa o bien educado que esté, piensa que sea algo distinto de una ficción. Mucha gente cree que la historia del agua en vino es cierta, pero todo el mundo coincide en que la historia del cerezo es ficción. La historia del cerezo se inventó hace tan solo unos 500 años. La historia del agua en vino es más antigua. Aparece en uno de los cuatro evangelios sagrados de la religión católica (en el Evangelio según San Juan, en ninguno de los otros tres), pero no hay motivo para creer que no sea una historia inventada, creada hace unos cuantos siglos antes de la del árbol de las cerezas. Los cuatro evangelios, por cierto, fueron escritos mucho después de los sucesos que relatan, y ninguno de ellos por testigos presenciales. Podemos concluir, por tanto, que la historia del agua en vino es pura ficción, igual que la historia del árbol de las cerezas.

Lo mismo podemos decir de todos los supuestos milagros, todas las explicaciones «sobrenaturales» de cualquier cosa. Supón que ocurre algo que no entendemos, y no podemos determinar si es un fraude o un truco o una mentira: ¿sería razonable concluir que tiene que ser sobrenatural? ¡No! Tal como expliqué en el Capítulo 1, eso pondría fin a todas las discusiones o investigaciones posteriores. Sería vago e incluso deshonesto afirmar que no hay ninguna explicación natural *posible*. Si afirmamos que algo extraño tiene que ser sobrenatural, no solo estamos diciendo que no lo entendemos, estamos afirmando que nunca podrá ser entendido.



§. Los milagros de hoy, la tecnología de mañana

Hay cosas que ni siquiera los mejores científicos de la actualidad pueden explicar. Pero eso no significa que debemos parar todas las investigaciones y volver a «explicaciones» falsas que impliquen magia o algo sobrenatural, que en realidad no explican nada. Imagina cómo reaccionaría un hombre de la Edad Media —incluso el mejor educado de su época— si viera un avión, un ordenador portátil, un teléfono móvil o un dispositivo GPS. Probablemente diría que es sobrenatural, milagroso. Pero estos dispositivos ahora mismo son de lo más común; y sabemos cómo funcionan porque la gente los ha construido siguiendo principios científicos. No ha habido necesidad de implicar a la magia, los milagros o lo sobrenatural, y ahora vemos que el hombre de la Edad Media se habría equivocado al decirlo.

No hace falta volver tan lejos como la Edad Media para ver este asunto. Una banda de criminales internacionales victorianos, equipados con modernos teléfonos móviles, podría haber coordinado sus actividades de forma que a Sherlock Holmes le pareciera telepatía. En el mundo de Holmes, un sospechoso en un caso de asesinato que pudiera probar que estaba en Nueva York la tarde después de haberse cometido el asesinato en Londres, tendría una coartada perfecta, porque a finales del siglo XIX era imposible estar en Nueva York y en Londres en el mismo día. Cualquiera que dijera lo contrario estaría implicando algo sobrenatural. Pero los modernos aviones sí lo permiten. El eminente escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke resumió esta teoría como la Tercera Ley de Clarke:

Cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia.

Si hubiera una máquina del tiempo que nos llevara hacia el futuro un siglo más o menos, veríamos maravillas que hoy pensamos que serían imposibles: milagros. Pero eso no significa que todo lo que hoy pensamos imposible vaya a ocurrir en el futuro. Los escritores de ciencia ficción pueden imaginar fácilmente una máquina del tiempo, o una máquina anti gravedad o un cohete que pueda transportarnos más rápido que la luz. Pero el mero hecho de que podamos imaginarlas no es motivo para suponer que esas máquinas algún día serán realidad. Algunas de las cosas que podemos imaginar hoy pueden convertirse en realidad. La mayoría no.

Cuanto más pienses en ello, más te darás cuenta de que la simple idea de los milagros sobrenaturales carece de sentido. Si algo parece ser inexplicable por la ciencia, puedes concluir con seguridad una de estas dos cosas: o no ha ocurrido en realidad (el observador se equivocó, o mintió o le engañaron) o hemos expuesto algo que la ciencia aún no ha descubierto. Si la ciencia actual encuentra una observación o un resultado experimental que no puede explicar, no debemos parar hasta que hayamos mejorado nuestra ciencia de manera que podamos proporcionar una explicación. Esto requiere un nuevo tipo radical de ciencia, una ciencia revolucionaria tan extraña que los científicos más viejos apenas reconocen como ciencia, y es normal. Ya ha ocurrido antes. Pero nunca seas tan perezoso —tan derrotista— como para decir: «Eso tiene que ser

sobrenatural» o «Eso tiene que ser un milagro». En lugar de eso di que es un puzle, que es extraño, que es un reto al que debemos llegar. Tanto si llegamos al reto cuestionando la verdad de la observación o expandiendo nuestra ciencia en direcciones nuevas y excitantes, la respuesta adecuada a cualquier reto de este tipo es abordarlo de frente. Y hasta que encontremos una respuesta apropiada al misterio, es perfectamente válido decir: «Esto es algo que aún no entendemos, pero en lo que estamos trabajando». De hecho, es lo único honesto que podemos hacer.

Los milagros, la magia y los mitos pueden ser divertidos, y nos hemos divertido con ellos en este libro. A todo el mundo le gusta una buena historia, y espero que hayas disfrutado de los mitos con los que he iniciado la mayoría de mis capítulos. Pero más aún espero que hayas disfrutado de la ciencia que he expuesto en cada capítulo después de los mitos. Espero que coincidas conmigo en que la verdad tiene magia por sí misma. La verdad es más mágica —en el mejor y más fascinante sentido de la palabra— que cualquier mito, misterio inventado o milagro. La ciencia tiene su propia magia: la magia de la realidad.

Agradecimientos

De Richard Dawkins a:

Lalla Ward, Lawrence Krauss, Sally Gaminara, Gillian Somerscales, Philip Lord, Katrina Whone, Hilary Redmon; Ken Zetie, Tom Lowes, Owen Toller, Will Williams y Sam Roberts de St Paul's School, Londres; Alain Townsend, Bill Nye, Elisabeth Cornwell, Carolyn Porco, Christopher McKay, Jacqueline Simpson, Rosalind

Temple, Andy Thomson, John Brockman, Kate Kettlewell, Mark Pagel, Michael Land, Todd Stiefel, Greg Langer, Robert Jacobs, Michael Yudkin, Oliver Pybus, Rand Russell, Edward Ashcroft, Greg Stikeleather, Paula Kirby, Anni Cole-Hamilton y al equipo y los alumnos del Moray Firth School.

De Dave McKean a:

Christian Krupa (modelado por ordenador); Ruth Howard (consejera de química), Andrew Hills (consejero de física) y al Cranbrook School; Clare, Yolanda y Liam McKean.

Créditos de las imágenes

- Galaxias, © NASA/Getty
- Espectroscopio, © Museo de Historia de la Ciencia, Oxford
- Araña,, © Thomas Shahan
- Simulación del terremoto, © Servicio Geológico de los Estados Unidos y Centro de Terremotos del Sur de California
- Michael Jackson en el reflejo de un coche, © KNS News
- «Jesús en una sartén», © Caters News
- «Jesús en una tostada», © Chip Simons/Getty
- Hadas de Cottingley, © Glenn Hill/SSPL/Getty