

David Blanco Laserna

LA BANDA MENGUANTE

CÓDIGO
CIENCIA



AYAYAY

APÉNDICE

Pero ¿a quién se le ocurre?

Isaac Newton

Seguro que alguna vez has oído decir a un padre, o a una madre, que sus hijos son más inteligentes de lo normal. Te habrá llamado la atención cómo lo hacen, sin sonrojarse ni pedir disculpas por el mal rato que hacen pasar a los demás. Este asunto de la inteligencia de los hijos hace perder la cabeza a muchos padres, todavía no se sabe muy bien por qué. No se lo tengas en cuenta. Es un deseo comprensible, pero ¿es un deseo inteligente? Puede que Isaac Newton fuera el chico más inteligente, no ya de su clase, sino de todas las clases que ha habido y habrá jamás sobre la Tierra. En él se hizo realidad la fantasía de infinidad de padres. ¿Tuvo razones para celebrarlo? Veamos por qué derroteros le llevó su inteligencia extrema.

Isaac Newton nació el día de Navidad de 1642, en una granja situada en el este de Inglaterra, lo que demuestra que los genios pueden surgir casi en cualquier parte y cuando menos te lo esperas. Fue un bebé prematuro. Según su madre, Hannah Ayscough, era tan pequeño que lo podías esconder dentro de una taza de café. Como entonces nadie sospechaba que iba a cambiar para siempre la historia de la ciencia, apenas le prestaron atención y sabemos muy poco de su infancia. Lo poco que sabemos resulta ligeramente deprimente. No llegó a conocer a su padre,



El insuperable Isaac Newton.

que murió meses antes del parto, y su madre se deshizo de él a los tres años, dejándolo a cargo de sus abuelos, para irse a vivir con su segundo marido.

Newton creció como un niño introvertido, irascible y solitario, que se divertía por las noches volando cometas, de las que colgaba pequeñas linternas, para asustar a los lugareños, haciéndoles creer que eran duendes. A los diecinueve años ingresó en la Universidad de Cambridge. Tuvo que pagarse los estudios trabajando como chico de los reca-

dos para los alumnos ricos. Entre sus obligaciones figuraba servirles la comida o vaciar sus orinales. Obviando estos penosos detalles, la Universidad de Cambridge parecía el sitio ideal para que Newton luciera por fin su prodigiosa inteligencia. Sin embargo, la mala suerte lo perseguía como una sombra. Nada más obtener su título en 1665, la Universidad cerró. Conviene aclarar que no lo hicieron con el fin de fastidiarlo. Acababa de declararse en Londres una epidemia de peste, que terminaría con la vida de uno de cada cinco habitantes de la ciudad, y Cambridge se hallaba demasiado cerca del foco de la infección.

La plaga diezmó primero a las ratas, dejando sin comida a las pulgas que se alimentaban de ellas. Los pequeños insectos se vieron forzados a modificar su dieta. A la hora del aperitivo picaban a una rata enferma y en el postre, a una persona sana, propagando la enfermedad a una velocidad aterradora. Entonces no existía ninguna cura para la peste y el mejor remedio era quitarse de en medio, antes de que la peste te quitara de en medio a ti. Newton regresó corriendo a la granja familiar, que estaba a ciento ochenta kilómetros de Londres. Parecía poco probable que las pulgas, con sus patas microscópicas, se tomaran la molestia de hacer un viaje tan largo solo para picarle a él.

Cumplidos los veintitrés años, Newton tenía muchas razones para sentirse furioso con el mundo. Una sola alegría equilibraba el balance de sus desdichas: era dueño del mejor cerebro de todos los tiempos, un cerebro que le permitía advertir cosas que nadie más veía. Para combatir el aburrimiento de su retiro campestre, batió todos los récords de productividad científica. Han pasado más de trescientos años desde aquel mítico invierno de 1665 y muchos científicos han perfeccionado los descubrimientos que hizo en-

tonces Newton. Ninguno ha logrado repetir su deslumbrante exhibición de inteligencia pura, que sostuvo a lo largo de dieciocho meses. ¿Estás listo para el espectáculo?

Para ir calentando motores, en febrero de 1665, Newton estableció el teorema del binomio. Se trata de una expresión algebraica que puede inspirar más repulsión que la cabeza aumentada de una pulga. Si no quieres verla, tápate los ojos y sáltate seis párrafos (¡cuéntalos bien!).

El álgebra es el arte matemático de hacer demostraciones con letras en lugar de números. Por ejemplo, si escribes:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2 ab + b^2$$

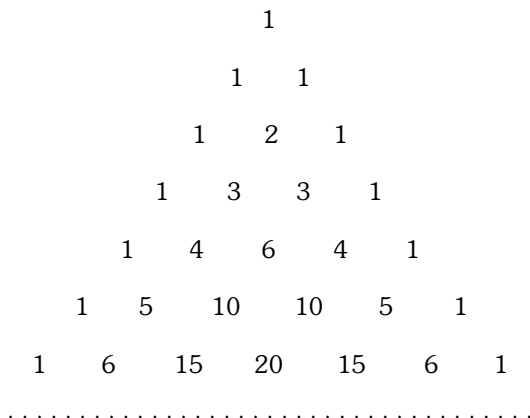
sabes que la igualdad se cumplirá para cualquier valor de a y b que se te ocurra; a puede valer 1 y b , 7; o 23 y 759; o cualquier otra pareja de números. A los matemáticos les encanta jugar al más difícil todavía y se atreven con expresiones aun más complicadas:

$$(a + b)^3 = a^3 + 3 a^2 b + 3 a b^2 + b^3$$

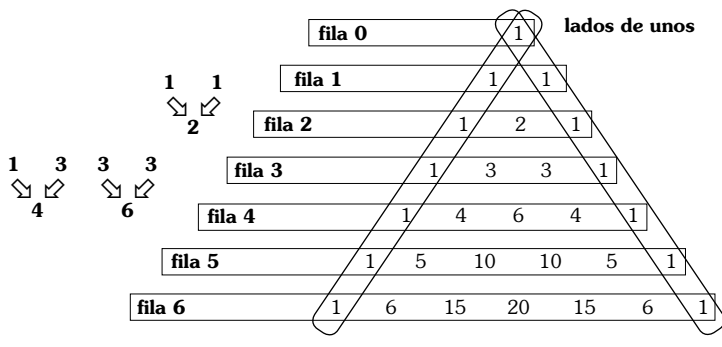
$$(a + b)^4 = a^4 + 4 a^3 b + 6 a^2 b^2 + 4 a b^3 + b^4$$

Todas ellas son binomios: sumas de dos números (a y b), elevadas a una potencia. Por desgracia, no hay modo de frenar a un matemático cuando se embala. En cuanto te despistas, ya se está preguntando cómo serán las expresiones para $(a + b)^7$ o $(a + b)^{3597}$. Por supuesto, la respuesta es que son horribles y que puedes malgastar tu vida entera, llenando páginas y páginas con ecuaciones. A no ser que seas tan avisado como Newton, claro. Él concibió una técnica elegante y sencilla para ahorrarse todos los cálculos.

Basta con dibujar un triángulo como el siguiente:



Dos lados están formados por unos. Para obtener los números del interior, se suman los dos números que quedan encima de cada posición: el que está justo a la izquierda y el que está justo a la derecha. El primero es el 2 de la segunda fila, resultado de sumar los dos unos de la fila superior. Se puede continuar el proceso hasta el aburrimiento, porque el triángulo es infinito.



Newton observó que las filas del triángulo te proporcionan los números que tienes que escribir en el desarrollo de un binomio cualquiera. Cada fila corresponde a una potencia. Si te fijas, la fila 2 da los números para $(a + b)^2$; la fila 3, los números para $(a + b)^3$; y así sucesivamente. ¿Cuál es la expresión para $(a + b)^6$? Sin necesidad de hacer una sola multiplicación, puedes echar un vistazo a la fila 6 del triángulo y responder:

$$(a + b)^6 = a^6 + 6 a^5 b + 15 a^4 b^2 + 20 a^3 b^3 + \\ + 15 a^2 b^4 + 6 a b^5 + b^6$$

Brillante, ¿verdad? Así se las gastaba el amigo Newton. Tres meses después de dar la campanada con el binomio, desarrolló un lenguaje matemático completo, absolutamente original, para hablar con rigor del cambio. En la naturaleza las cosas cambian sin cesar. Se nos enfría la nariz, nos golpeamos la rodilla con el pico de una mesa, la Luna mengua, desaparece y asoma de nuevo en el cielo a los pocos días. Para hablar de todos estos fenómenos podemos utilizar un lenguaje coloquial, podemos decir que tenemos los pies helados, que hemos corrido muy deprisa o que el Sol no tardará en ponerse. Queda bien, pero no resulta muy científico. Newton construyó un lenguaje preciso, el cálculo infinitesimal, que permite expresar con exactitud matemática cómo se desarrollan los cambios.

El binomio y el cálculo son dos invenciones sensacionales, pero si Newton quería ganarse de verdad el título de científico más inteligente de todos los tiempos, debía crear unas leyes que llevaran su nombre. Qué menos. En vista de

que las pulgas seguían haciendo de las suyas en Londres, Newton se puso manos a la obra y estableció las tres leyes del movimiento, que a partir de ese momento se conocerían como *las leyes de Newton*. Vamos a fijarnos solo en las dos primeras:

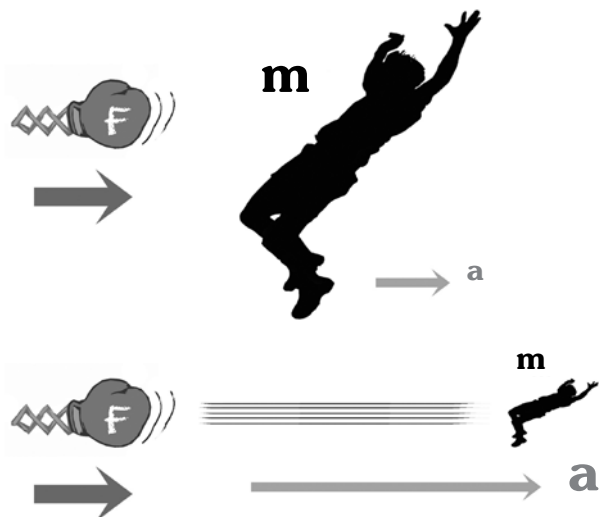
Ley de la pereza: un cuerpo, si no lo incordian, se mantiene inmóvil o sigue corriendo en línea recta con la misma velocidad que llevaba hasta entonces.

La primera parte de esta ley la hemos comprobado todos: necesitamos una poderosa razón para ponernos en movimiento y, si no la encontramos, preferimos quedarnos tumbados en el sofá. No solo te pasa a ti, le ocurre a toda la materia. Cualquier objeto que está en reposo permanece quieto mientras nadie lo obligue a moverse. Ahora bien, la segunda parte de la ley contradice descaradamente la experiencia. Después de lanzar una pelota hacia arriba, no sigue subiendo, días y días, hasta que los telescopios la pierden de vista. Esto se debe a que los cuerpos, cuando se mueven, siempre tropiezan con algo que los incordia: el rozamiento del aire, el roce contra el suelo, la gravedad... Para observar la ley de la pereza en todo su esplendor hay que viajar al espacio. ¡Los planetas no necesitan gasolina para seguir dando vueltas!

Ley de la fuerza: para sacar a un cuerpo de su estado de pereza, hay que aplicarle una fuerza. El cambio en su velocidad será más rápido cuanto mayor sea la fuerza y menor sea la masa del cuerpo. Si llamamos aceleración (a) al ritmo con el que cambia la velocidad:

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{donde } F \text{ es la fuerza y } m, \text{ la masa del cuerpo}$$

Esta ley nos enseña hasta qué punto puede ser dura la vida de las personas menguantes. Cuando tienes poca masa, las fuerzas te afectan mucho más.



La misma fuerza causa mayor aceleración cuando se aplica sobre un cuerpo con menos masa. El cambio de velocidad (a) apunta en la misma dirección que la fuerza.

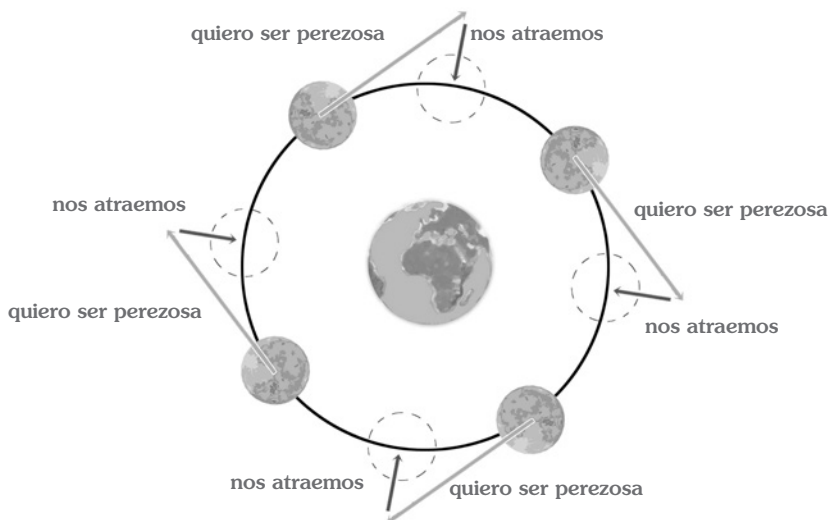
Las personas menguantes no son las únicas que sufren las leyes de Newton. En realidad, su jurisdicción es universal. A ellas se someten las alpargatas, los planetas, las hormigas, los vecinos molestos... Para abreviar: toda la materia del universo. Newton no entró en demasiadas explicaciones de cómo eran las fuerzas, salvo en el caso de una fuerza muy particular: la gravedad. Cuenta la leyenda que una tarde, tumbado a la bartola en su jardín, mientras descansaba de tanto pensar, le cayó en la cabeza una manzana. Lejos de

atontarlo, el golpe reactivó sus neuronas. ¿Qué clase de fuerza había desprendido la manzana?, se preguntó. Es más, si afectaba a la manzana, ¿por qué no iba a afectar también a la Luna? Después de todo, las leyes del movimiento eran universales. Y si la fuerza que hacía caer la manzana actuaba también sobre la Luna, ¿por qué esta no se precipitaba desde el cielo y lo aplastaba?

Newton respondió a estas preguntas tan incómodas con la ley de gravitación universal: todos los cuerpos se atraen entre sí con una fuerza, la gravedad, cuya intensidad depende de sus masas y de la distancia que los separa.

Incluso tú atraes un poco a tus compañeros de clase y ellos te atraen a ti. Sí, todos os atraéis mutuamente, aunque os llevéis fatal. No tenéis elección. Y también te atrae el autobús de la línea 5 y tú atraes a la torre Eiffel. Sucede que la gravedad es de una debilidad extrema y, para que se haga notar, necesita mucha, muchísima masa. Cuanta más logres reunir, más intensa se hará la fuerza. Además, la intensidad de la atracción disminuye volando con la distancia. Un planeta con veintiséis mil veces la masa de la Luna, como Júpiter, nos atrae con una fuerza 0,006 veces más débil, porque está dos mil veces más lejos.

Dado que la Luna nos pilla relativamente cerca, ¿por qué no se desploma sobre nuestras cabezas, como una manzana de talla XXXL? En el fondo, la Luna lo que quiere es vivir de acuerdo con la ley de la pereza y viajar sin prisa, pero sin pausa, por el universo. La gravedad frustra sus planes. Su deseo de seguir en línea recta y la atracción hacia la Tierra se combinan en una trampa diabólica, que la atrapa en una órbita circular.



La pugna entre la pereza y la atracción encierra a la Luna en un círculo vicioso del que no logra escapar.

Ha llegado el momento de tomarnos un respiro. Después del binomio, el cálculo, las leyes del movimiento y la ley de gravitación universal, ¿Newton también se detuvo a descansar? Pues no. Para terminar de redondear su exhibición de poderío mental, se fijó en uno de los fenómenos más misteriosos de la naturaleza: la luz. Con un prisma que había comprado en la famosa feria de Stourbridge, descompuso la luz del Sol y demostró que estaba formada por una suma de colores. Este experimento le permitió explicar, entre otras cosas, por qué surgen los arcoíris.

Para cuando se calmaron las pulgas, la peste amainó y la Universidad de Cambridge se animó por fin a reabrir sus puertas, en 1667, Newton estaba en condiciones de dejar con la boca abierta a medio mundo. Sin embargo,

seguía siendo un joven reservado y solitario. Detestaba las críticas y la perspectiva de exponer en público sus descubrimientos le apetecía tanto como un baño de ácido sulfúrico.

Muchos de sus hallazgos no vieron la luz hasta varias décadas después. Publicó sus dos grandes obras, *Los principios matemáticos de la filosofía natural* y la *Óptica*, en 1687 y 1704. Entretanto, tuvo ocasión de desarrollar más a fondo sus ideas. Había algo mágico en la segunda ley del movimiento. Por un lado, habla del ritmo de cambio de la velocidad y Newton había inventado el cálculo para describir con precisión matemática ese cambio. Por otro, la ley habla de la fuerza y, en el caso de la gravedad, Newton conocía con exactitud su comportamiento. Al encajar ambas piezas fue capaz de explicar el movimiento de todos los cuerpos celestes, la forma de la Tierra y las mareas. Ningún ser humano había desentrañado antes el mecanismo de la naturaleza con ese grado de profundidad y rigor.

Tras la paliza que se metió en sus dieciocho meses de retiro campestre, Newton pudo haberse dedicado a holgazanear el resto de su vida. Lo cierto es que no se ocupó mucho más de asuntos científicos. Lo que no quiere decir en absoluto que dejara de investigar. Su atención se fue deslizando poco a poco hacia estudios prohibidos. La Biblia ocupó el centro de sus obsesiones. Estaba convencido de que contenía mensajes ocultos e invirtió cientos de horas en descifrarlos. Llegó a la conclusión, por ejemplo, de que el mundo se acabaría en el año 2132. La Historia fue otra de sus pasiones y trató de fechar los grandes acontecimientos del pasado, combinando su erudición astronómica con las descripciones del cielo que localizaba en manuscritos antiguos. Por último, se consagró a la alquimia. Por aquel entonces la ciencia se confundía a menudo con la magia y,

aunque Newton fue uno de los principales impulsores del pensamiento moderno, una parte de su espíritu seguía siendo medieval.

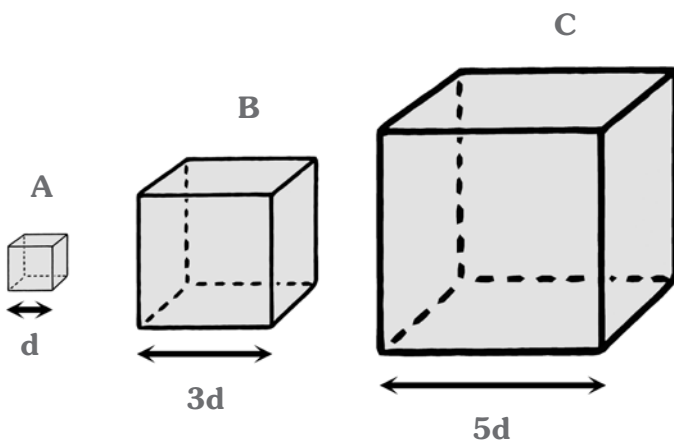
¿Fue Newton feliz? Se conserva un puñado de retratos suyos. En ninguno de ellos sonríe y en la mayoría contempla al espectador como si oliera mal. Si hacemos caso a uno de sus biógrafos, «nunca se permitió una diversión o un pasatiempo [...], porque pensaba que todas las horas que no dedicase al estudio eran horas perdidas». El conocimiento también le produjo tremendos quebraderos de cabeza. No soportaba que le llevaran la contraria, le atormentaba la posibilidad de que le robaran las ideas y se enzarzó en disputas científicas bastante agrias. Aunque algo resulta innegable: contemplar el mundo desde la perspectiva única de su inteligencia debió de suponer un privilegio incomparable.

Tampoco me malinterpretes. Ser inteligente está fenomenal, pero ¿realmente compensa ser la persona más inteligente del mundo?

Los archivos de Código Ciencia

Manual de supervivencia para personas menguantes

No es una casualidad que la anatomía de los insectos difiera tanto de la de los mamíferos. El cuerpo ideal cuando mides un centímetro puede convertirse en una trampa mortal cuando mides un metro. La escala lo trastorna todo. Las hormigas morirían si adquiriesen de pronto las dimensiones de un caballo, y viceversa. ¿Por qué? La clave está en la relación entre la superficie y el volumen de los cuerpos. Observa el siguiente cubo e imagina que va aumentando de tamaño. A lo largo del proceso, su volumen se incrementa mucho más deprisa que su superficie.



Lo puedes comprobar mediante un sencillo cálculo. La superficie del primer cubo es la suma del área de sus seis caras (cada una vale *lado* $\times$ *lado*, es decir, d^2). Por tanto, la superficie total de A valdrá $6 d^2$. La del cubo C será $6 \times (5d)^2 = 25 \times 6 d^2$. Así que, al agrandarse desde A hasta C, la superficie del cubo ha crecido en un factor 25. ¿Y qué ha pasado con el volumen? Recordarás que el volumen de un cubo vale *lado* $\times$ *lado* $\times$ *lado*. Así que el volumen de A es d^3 y el de C, $125 d^3$. ¡El volumen del cubo se ha multiplicado por un factor 125!

Antes de internarnos en el inquietante universo de las criaturas menguantes hay que tener muy presente este hecho: el volumen es mucho más sensible al cambio de escala que la superficie. Siempre que no varíe la densidad de un cuerpo, hablar de su masa equivale a hablar de su volumen. *Así que cuando decreces, tu masa se reduce mucho más deprisa que tu superficie*. Esta terrible verdad tendrá consecuencias dramáticas.

UN FRÍO SIBERIANO

Una de las principales preocupaciones de cualquier persona menguante consiste en no morir de frío. El cuerpo funciona básicamente como una estufa, que genera calor en cada una de sus células, quemando el combustible (los nutrientes) que le lleva la sangre. Por tanto, nuestra masa genera calor (si has viajado en metro en hora punta sabrás bien de lo que hablo). ¿Cómo perdemos el calor que producimos? A través de la frontera entre nuestro cuerpo y el resto del mundo: la superficie de la piel. El interior del organismo está a una temperatura de unos 37°C , que suele

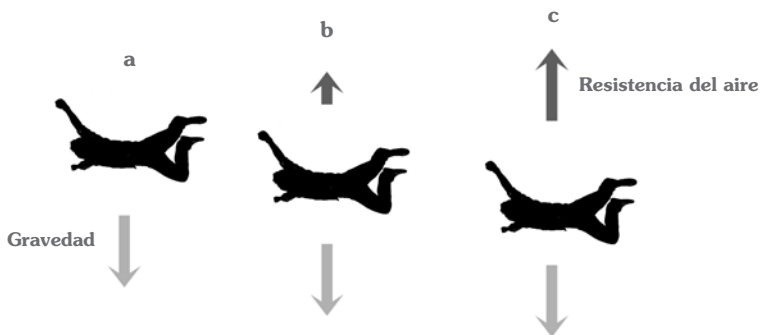
ser superior a la temperatura del aire que nos rodea, pongamos que unos 25 °C. El calor fluye de los cuerpos más calientes a los más fríos, así que esta diferencia de temperatura causa que el calor escape de nuestros cuerpos al entorno.

El cuerpo de los animales genera calor en su masa y pierde calor a través de su superficie. Recuerda nuestra terrible afirmación: *Cuando decreces, tu masa se reduce mucho más deprisa que tu superficie*. Es decir, tu capacidad para producir calor disminuye más rápido que la frontera por donde lo pierdes. Mal negocio. A esto se debe que los animales pequeños, como las ardillas, sean más vulnerables al frío. Disponen de poca masa calefactora y mucha superficie refrigerante. En comparación, un elefante presenta mucha más masa frente a su superficie. ¿Te has fijado en qué es lo primero que se te enfría en invierno? Las manos, los pies y las orejas. Justo las partes del cuerpo que ofrecen más superficie y encierran menos volumen.

Si menguamos, ¿qué podemos hacer para no acabar tiritando? No queda más remedio que echar más madera a la estufa celular. En otras palabras: hay que acelerar el metabolismo y consumir más energía. Las musarañas son los mamíferos terrestres más pequeños. Pesan unos cinco gramos y su corazón late once veces más rápido que el nuestro. Pueden morir de inanición si pasan más de seis horas sin comer. El elevado ritmo metabólico de una criatura menguante hace que pronto se quede sin combustible: se agota y padece un hambre de lobo, que nunca parece calmarse.

SALTOS ESCALOFRIANTES

No todo son calamidades en la vida menguante. Los animales muy pequeños no se hacen daño al caer desde alturas elevadas. Cuando te precipitas al vacío, dos fuerzas echan un pulso con tu cuerpo. Una de ellas es la gravedad, que te acelera. La otra fuerza es la resistencia del aire, que te frena. La gravedad gana al principio, pero la resistencia del aire enseguida aumenta, porque depende de la velocidad. A medida que tu cuerpo se acelera camino del suelo, encuentra más oposición del aire, hasta que ambas fuerzas, gravedad y resistencia, se igualan. En ese momento dejas de acelerarte y pasas a caer con una velocidad constante, que se llama «velocidad límite». Si la velocidad límite es grande en el momento de tocar el suelo, el choque te dolerá. Si es pequeña, te posarás suavemente.



*En **a** solo actúa la gravedad, acelerando. En **b**, la resistencia del aire reacciona al movimiento del cuerpo y comienza a frenar. En **c**, ambas fuerzas se igualan y desaparece la aceleración.*

Al caer desde una altura, lo que te interesa es no acelerarte demasiado (no ganar velocidad muy deprisa) y

frenarte lo antes posible. La gravedad te acelera; por tanto, es tu enemiga. Depende de tu masa. La resistencia te frena; es tu amiga. Depende de la superficie que presentes al aire. Ahora recuerda la terrible sentencia: *cuando un cuerpo decrece, su masa disminuye mucho más rápido que su superficie*. Es decir, los efectos infames de la gravedad se atenúan mucho más deprisa que la maravillosa fuerza de frenado. Conclusión: una persona menguante puede lanzarse desde lo alto de una mesa, la capucha de una adolescente o el tercer piso de un instituto sin miedo a acabar hecha papilla.

SUPERFUERZA

El diámetro de un brazo proporciona una buena estimación de su fuerza. No tienes más que comparar el bíceps de un levantador de pesas con el tuyo. Con más rigor, la fuerza máxima que puede ejercer un músculo depende del área de su sección transversal, es decir, de la superficie que presentaría en un corte perpendicular al hueso. Si te fijas en los insectos, tienen las patas muy finas en relación con el volumen del tórax y el abdomen. Hasta aquí, ninguna sorpresa. Apenas requieren esfuerzo muscular para sostener su cuerpo, que pesa muy pocos miligramos. Después de menguar, las piernas y los brazos humanos acaban con muchas más fibras musculares de las que precisan en la nueva escala. De ahí que las patadas de Dihya causen estragos entre los insectos. Y a la inversa, las patas de una hormiga aumentada no lograrían levantar su tronco del suelo.

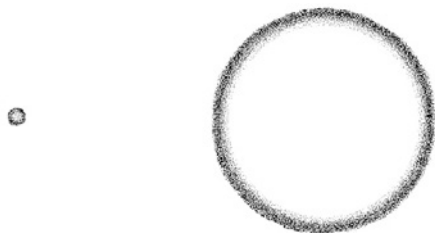
Las personas menguantes brincan como saltamontes. La clave de un buen salto está en la velocidad con la que despegas del suelo. ¿Esta de qué depende? De los músculos

de tus piernas (un área) y de tu masa. Los músculos juegan a favor del salto, y la masa, en contra. De nuevo, *al menguar, la masa disminuye más deprisa que la superficie*, así que el lastre se reduce más rápidamente que la fuerza impulsora de los músculos.

VISTA DE TOPO

Aunque el mundo a pequeña escala despliegue sus maravillas igual que un continente inexplorado, los aventureros menguantes se enfrentan a graves problemas para satisfacer su curiosidad. Para empezar, ¿pueden ver algo?

Al menguar disminuye el tamaño de la pupila, el agujero por el que penetra la luz en el ojo. Cuando la luz atraviesa un orificio, sufre un fenómeno llamado «difracción» en el borde. Allí interactúa con la materia y se desparrama. Donde no toca el borde, esta dispersión no tiene lugar y la luz pasa sin sufrir perturbación alguna. En un agujero pequeño, existe casi tanto borde como espacio libre y la difracción resulta muy acusada. Una abertura grande, por el contrario, presenta mucho más espacio libre que borde y la difracción pasa desapercibida.

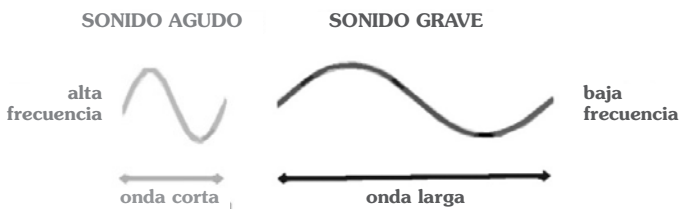


La difracción afecta a casi todo el interior de un orificio pequeño, pero apenas se advierte en uno grande.

Las aves de presa, como los búhos o los halcones, gozan de una vista envidiable y exhiben pupilas más grandes que las humanas. En la pupila de una persona con las dimensiones de una hormiga, la luz visible se desparramaría con generosidad, emborronando la imagen que se proyectase en la retina. La situación podría ser incluso peor. Si el erizo miniaturizador de Teresa compone cuerpos diminutos con células de dimensiones normales, la retina de un ojo menguado dispondrá de menos células sensibles a la luz y, por tanto, formará imágenes con menos resolución.

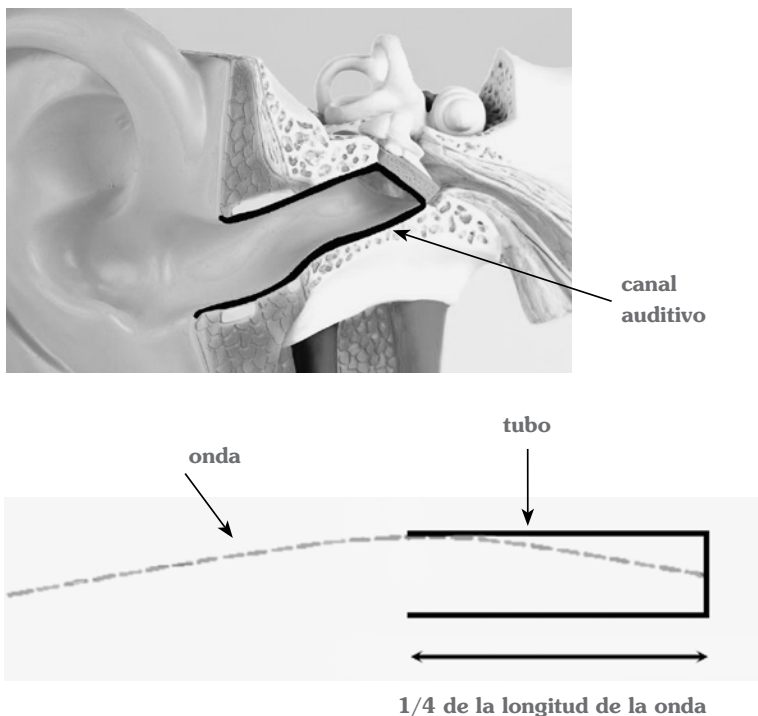
OÍDO DE LOMBRIZ

¿Qué clase de voces, crujidos y susurros escucharía una persona menguante? Veamos. Aunque el oído humano sea un delicado sensor de sonido, no detecta ondas de cualquier tamaño. Cada persona es un mundo, pero podemos asumir que el rango de frecuencias audibles se extiende desde los 20 Hz hasta los 20 000 Hz.



Cuanto mayor es la longitud de una onda (λ), menor es su frecuencia (ν)

Antes de llegar al tímpano y acceder al oído interno, los sonidos deben atravesar el canal auditivo. Este se comporta como un tubo abierto por un extremo y cerrado por el otro (en la membrana del tímpano). En esta clase de tubos se produce un fenómeno curioso, que se conoce con el nombre de «resonancia». Las ondas sonoras que inciden sobre ellos les comunican más energía cuando poseen una longitud determinada: cuatro veces la extensión del tubo.



El canal auditivo de una persona corriente mide unos 2,5 cm, así que la longitud de la onda resonante será: $4 \times 2,5 \text{ cm}$ o, lo que es lo mismo: 0,1 m. ¿A qué

frecuencia corresponde? Para hacer el cálculo, basta saber que la frecuencia (ν) y la longitud (λ) de una onda sonora se relacionan mediante la velocidad del sonido en el aire (340 m/s).

$$\nu = \frac{340}{\lambda} \text{ Hz} \quad \nu = \frac{340}{0,1} \text{ Hz} = 3400 \text{ Hz}$$

Gracias a esta resonancia, percibimos las ondas de 3400 Hz con el doble de intensidad. Es la frecuencia que oímos mejor. Cuando un bebé llora, ¿sientes como si te talarara los tímpanos? ¿Sabes a qué frecuencia emite su berrido el pequeño monstruo? ¡Bingo! Un poco por encima de los 3000 Hz.

Cuando Zoe medía un centímetro, era unas 150 veces más pequeña de lo normal. Lo mismo le ocurría a su conducto auditivo. La resonancia en un tubo 150 veces más corto sobreviene a una frecuencia 150 veces más alta, que pertenece a un sonido mucho más agudo. El oído encierra más intrínquilis, pero podemos aceptar que un individuo que encoge se vuelve más sensible a los agudos. Al mismo tiempo que Zoe mejora su audición de los sonidos de alta frecuencia, pierde la capacidad de escuchar los más graves. Entre ellos, los que integran cualquier conversación entre personas de tamaño ordinario.

VOZ DE GRILLO

Las voces de la banda menguante sufren una humillante distorsión. Al decrecer, la laringe se acorta y, con ella, las

cuerdas vocales. Las cuerdas más largas pueden producir sonidos más graves. Lo puedes comprobar comparando los sonidos de un violín con los de un violonchelo. Por este motivo, los niños hablan con una voz más aguda que los adultos. La misma razón explica el contraste entre las voces masculinas y femeninas. En el hombre, las cuerdas vocales se extienden una longitud de 2,1 cm; frente a los 1,5 cm de la mujer. Si te encogen las cuerdas vocales, pierdes la capacidad de generar sonidos graves y terminas con voz de pito. Muchos animales respetan las voces profundas, precisamente porque constituyen un buen indicio de que detrás hay una garganta grande.

Los adolescentes no menguan, crecen, y con ellos, sus laringes. Cuando las cuerdas vocales se alargan y engrosan, la garganta comienza a emitir frecuencias inesperadas. Dominar esta voz mutante requiere un poco de paciencia y, durante el proceso, se suelen escapar gallos embarazosos. Por suerte, la transformación concluye a los pocos meses y la voz se estabiliza.

El enemigo en casa

Una microguía de campo de monstruos diminutos

El universo no parece mostrar preferencias por ningún tamaño. Encierra tantos misterios en un átomo como en un cúmulo de galaxias. Sin embargo, hasta donde sabemos, la vida no se desarrolla a cualquier escala. En la Tierra, los seres vivos exhiben tallas desde la décima de micra de las bacterias más diminutas hasta los cien metros de las secuoyas. No existe nada más grande ni más pequeño. Una secuoya es cien millones de veces más alta que una bacteria. A cambio, existen muchísimas más bacterias que secuoyas. La proporción resulta difícil de establecer, porque en realidad nadie sabe con certeza cuántas bacterias pululan por la Tierra. Algunos científicos les atribuyen más de la mitad de la masa viva del planeta. Visto desde esta perspectiva, no es en el espacio que los humanos medimos en metros donde la vida se siente más cómoda, sino en el de las micras.

Si las bacterias te parecen aburridas, podemos dar un salto hasta los animales. En esta nueva categoría, tampoco prevalecen las medidas humanas. Cerca del 85% de las especies animales que conocemos pertenecen a la clase de los insectos. Por cada persona que habita el planeta, te puedes encontrar doscientos millones de insectos. Entre ellos, los más abundantes son los escarabajos, como la galleruca del olmo.

Las dimensiones preferidas por los organismos terrestres son las micras de las células o los milímetros de los insectos y las arañas. Vamos a examinar dos viejos moradores de la escala favorita del reino animal. Criaturas de pesadilla para la banda menguante, no podrían resultar más monos para la mayoría de seres vivos. En el dominio de los milímetros, es la figura humana la que se considera monstruosa.

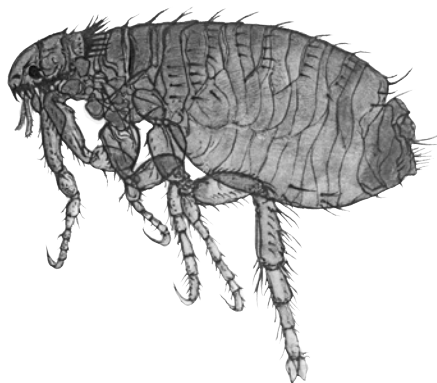
PULGAS

Las pulgas son un incordio, de acuerdo, pero su anatomía resulta admirable. Han desarrollado un cuerpo casi perfecto para asaltar a sus víctimas, robarles la sangre y resistir sus furiosos manotazos. Aliadas con la bacteria *Yersinia pestis*, pudieron causar la muerte de hasta doscientos millones de personas durante las epidemias de peste que azotaron la Edad Media.

¿Cómo localizan las pulgas a sus involuntarios huéspedes? Sus antenas perciben la presencia de dióxido de carbono, el gas que exhalan los mamíferos y las aves al respirar. También reaccionan ante el calor y las sombras. Los pelos y espinas que las recubren detectan la agitación del aire que desplaza un cuerpo grande al moverse. Cuando estos estímulos se combinan, la pulga salta al abordaje. Carecen de alas, pero se puede afirmar que vuelan con las patas. Sus largas extremidades traseras funcionan como catapultas. No solo las impulsan los músculos, vienen armadas con resortes de resilina, la proteína más elástica de la naturaleza, que se comprime y estira en un milisegundo. La verdad es que tampoco tienen mucho peso que levantar: apenas medio miligramo, que sale disparado como un hom-

bre bala. De un brinco, la pulga se eleva hasta cien veces su propia altura, unos veinte centímetros. Cuando llevan demasiado tiempo en ayunas, son capaces de ejecutar hasta seiscientos saltos en una hora.

Su tamaño minúsculo dificulta su captura y no hay modo de aplastarlas, porque son prácticamente planas y las protege una férrea armadura de quitina. Numerosos pelos y espinas les sirven de ganchos, que se enredan en el pelo de los animales y así evitan resbalones y caídas. Gracias a su cabeza en forma de quilla, se abren camino sin esfuerzo entre el pelaje más apretado.



La pulga, un vampiro sofisticado.

El primer retrato detallado de una pulga se publicó en 1665, en *Micrographia*, un libro escrito por un contemporáneo de Isaac Newton, Robert Hooke. Ambos protagonizaron algunas de las polémicas científicas más sonadas de la Historia. Aunque no girasen en torno a nuestros pequeños insectos, en ellas demostraron tener muy malas pulgas.

ARAÑAS DE JARDÍN

A las arañas de jardín nadie las enseña a fabricar su tela, pero no tienen nada que envidiar al mejor maestro de obras. Desde el principio actúan con esmero, buscando un punto que ofrezca buenas perspectivas para la construcción, como la rama de un árbol. Cuando sienten que se levanta una ligera brisa, las glándulas sericígenas de su abdomen secretan un fino hilo de seda, de un par de metros de longitud, que lanzan al aire, como un pescador su caña. Si no tienen suerte, lo recogen, se lo tragan y prueban de nuevo. El extremo de la hebra es pegajoso y tarde o temprano hallará un obstáculo, como otra rama o un muro de ladrillo, al que fijarse. En cuanto la araña nota que el hilo se tensa, sabe que ha llegado a buen puerto. Entonces se apresura a cruzar al otro lado, en un viaje de exploración que aprovecha para reforzar el puente con nueva seda.

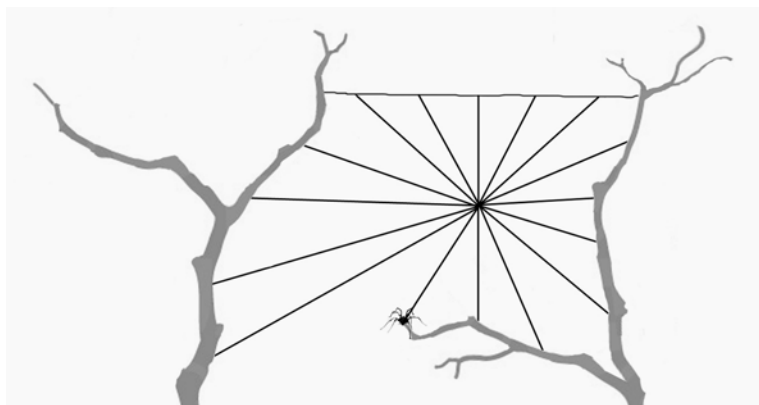


A continuación, anuda en ambos extremos un filamento más largo, que deja colgando flácidamente. De su

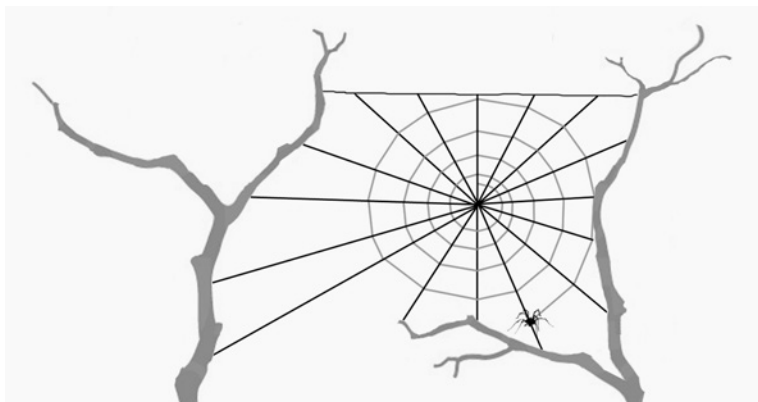
punto medio tiende un tercer hilo, que tensa y fija en una rama más baja o en el suelo. Esta nueva estructura, en forma de Y, contiene ya el centro de la tela.



Partiendo de él, teje los demás radios. La araña se comporta como una geómetra experta, que va midiendo los ángulos con las patas, para mantener una separación entre radios bastante regular.



Sobre este armazón hilvana, segmento a segmento, una espiral, desde el centro a la periferia de la red. Cuando la completa, cambia de hilo: la seda seca por otra viscosa. Los tramos que acaba de montar le sirven de andamio para construir una segunda espiral, esta vez pegajosa.



La labor entera puede llevarle una hora. Una telaraña de tamaño medio cuenta con unos setecientos nudos y consume más de treinta metros de seda. A las arañas les gusta mantener su casa-trampa impoluta, sin polvo, pelusas ni desgarrones. Cada noche, o a lo sumo cada dos noches, se comen la tela y la rehacen a la mañana siguiente. Si la reconstruyen en el mismo lugar, aprovechan parte del viejo entramado, pero siempre rehacen los radios y la espiral pegajosa. Si quieres sorprenderlas en plena faena, pon el despertador a las cuatro de la mañana. ¡Son muy madrugadoras!

¿Te atreves a...?

Iniciarte en los secretos de la tensegridad

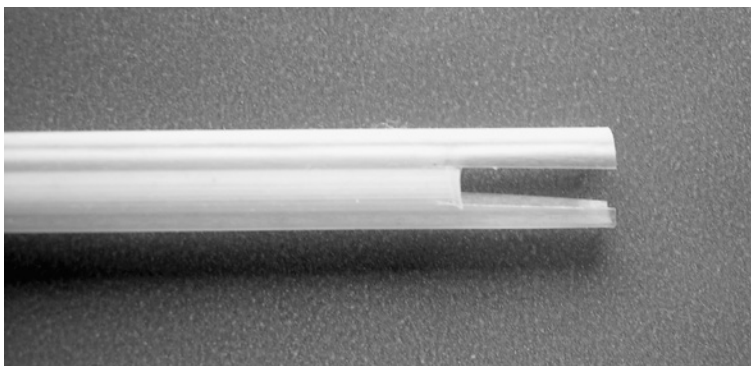
El inventor estadounidense Richard Buckminster Fuller acuñó la palabra «tensegridad» (en inglés, *tensegrity*) al contraer la expresión «integridad tensora» (*tensional integrity*). Designa un estilo de construcción en el que se equilibran dos principios opuestos: la presión y el estiramiento. La arquitectura tradicional se basa en la resistencia a la compresión. Las piedras o los ladrillos deben soportar el peso de la estructura que levantamos encima de ellos. Si fueran elásticos, el edificio entero colapsaría. El juego de construcción tensegrico incorpora piezas nuevas: no solo contiene ladrillos rígidos, también elásticos. Los rígidos aguantan la compresión, pero no se estiran o tensan; mientras que los elásticos se tensan, pero no resisten la compresión. Ambos elementos se relacionan armónicamente, alcanzando una sorprendente estabilidad. En palabras de Buckminster Fuller, la tensegridad consiste en «islas de compresión inmersas en un mar de tensión».

Puede sonar como una propuesta exótica, pero estás rodeado de estructuras tensegricas. Tu cuerpo, sin ir más lejos. Los huesos rígidos flotan en el océano tensor del tejido muscular, de los ligamentos y los tendones. Puede decirse lo mismo de cada célula de tu organismo. Mantienen su forma y movilidad gracias a una combinación de varillas

rígidas (los microtúbulos) y de fibras elásticas (los microfilamentos). ¿Qué mejor modo de rematar nuestra aventura menguante que construyendo un modelo tenségrico? Los principios de la tensegridad no menguan; mantienen su vigencia en todas las escalas de la vida. Lo mismo en una célula que en el esqueleto de una ballena.

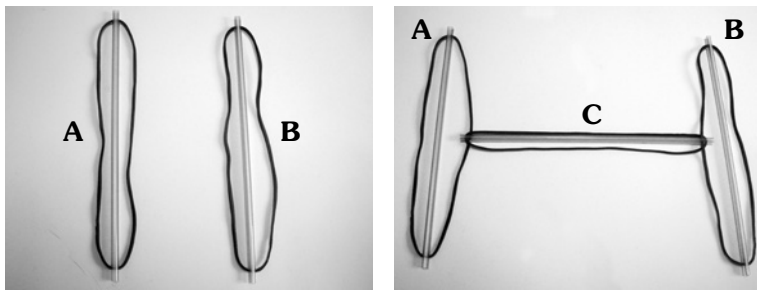
En nuestro caso, los ladrillos rígidos serán pajitas de refresco, y los ladrillos tensores, gomas elásticas. Vas a necesitar seis pajitas, de unos 20 cm de longitud, y el mismo número de gomas elásticas, tan largas como las pajitas.

En los extremos de cada pajita, recorta una ranura de un centímetro de profundidad (como si fuera el canal de un tornillo). Luego encaja la goma en ellas. Haz la misma operación con las seis pajitas. Una vez listas, estos son los pasos que debes seguir para construir el modelo.

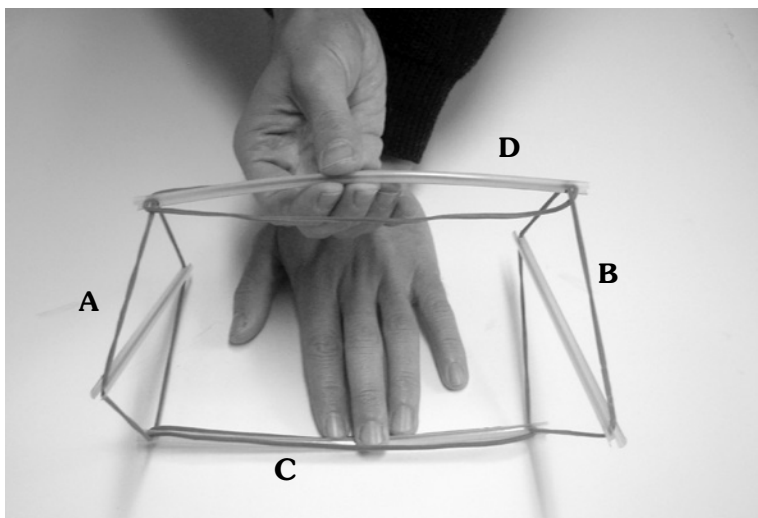


Paso 1. Coloca dos pajitas, *A* y *B*, una al lado de la otra. Forma una *H* añadiendo una tercera, *C*, en perpendicular. Para ello, inserta el punto medio de la goma de *A* en la ranura izquierda de *C*. Haz lo mismo con el punto medio de la goma de *B* en la ranura derecha de *C*. Para que las

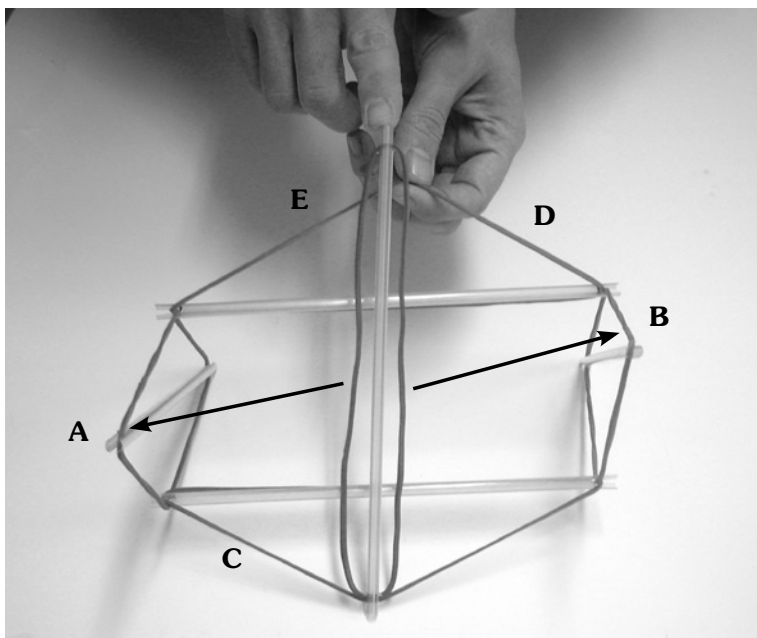
gomas no se suelten más adelante, conviene cambiar el orden, de modo que las gomas de *A* y *B* queden por debajo de la goma de *C*.



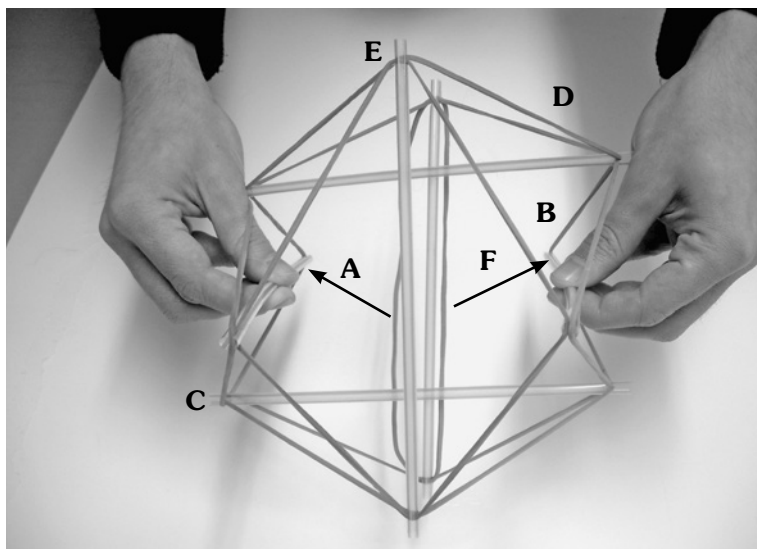
Paso 2. Une a la estructura una cuarta pajita, *D*. Inserta sus extremos en el punto medio de las gomas de *A* y *B*, por el lado donde han quedado libres. *D* tiene que quedar paralela a *C* y por encima de ella.



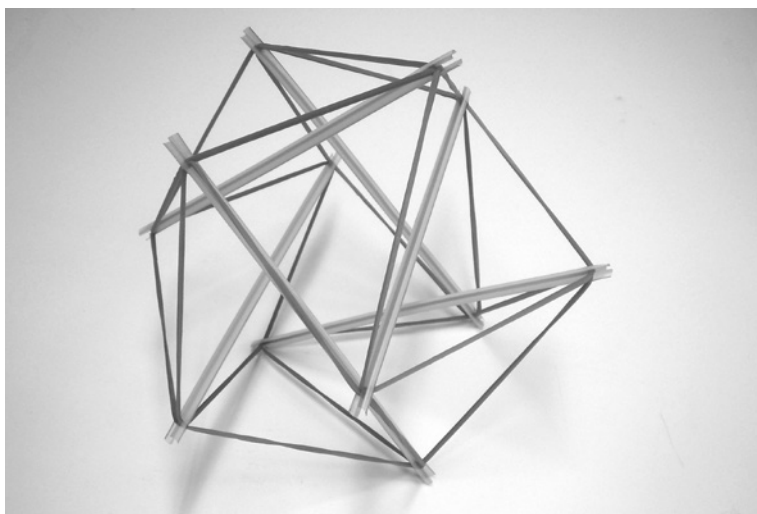
Paso 3. Añade una quinta pajita, *E*. Inserta su extremo inferior en el punto medio de la goma de *C* y el superior, en el punto medio de la goma de *D*, de manera que *E* quede por delante de *C* y *D*. Luego estira las gomas de *E* para engancharlas en las ranuras superiores de *A* y *B* (en la imagen, se marcan los puntos con un par de flechas). En todas las conexiones conviene invertir el orden de las gomas, para que quede por encima aquella que ejerza más tensión, sujetando a la otra.



Paso 4. Agrega la sexta pajita, *F*. Engánchala en el punto medio de las gomas de *C* y *D* que quedan libres, de modo que *F* se sitúe detrás de *C* y *D*, paralela a *E*. Estira las gomas de *F* para engancharlas en las ranuras inferiores de *A* y *B*.



¡Ya está completa la estructura!



En realidad, la rigidez de las pajitas deja un poco que desear. Si montaras el mismo modelo con varillas de madera, podrías aplastarlo contra una mesa hasta que quedase plano. Al soltarlo, saltaría y recuperaría de inmediato su aspecto original, demostrando su estabilidad. Una propiedad de las construcciones tenségricas que puedes comprobar es que cualquier deformación en un punto repercute en el resto de la estructura, hasta en los extremos más alejados.