GIOVANNI BIGNAMI
CRISTINA BELLON



EL FUTURO

EXPLICADO a los NIÑOS

Más libros en www.DESCARGASMIX.com

¿Está prevista una misión humana a Marte?

¿Cómo se captura un cometa?

¿Cómo es el centro de la Tierra?

¿Existen los extraterrestres?

¿Es posible enseñar a nuestro cuerpo a curar las heridas?

¿Conseguiremos viajar en el tiempo?

¿De qué está hecho el Universo?

¿Cómo serán los videojuegos del futuro?

¿Seremos los seres humanos sustituidos por robots?

¿Cuáles son los descubrimientos científicos que cambiarán nuestras vidas en el próximo medio siglo?

En este libro encontrarás algunas preguntas que te has hecho sobre el futuro y sus respuestas, con él, entenderemos mejor el presente e intentaremos conocer el futuro.

Para todos los jóvenes curiosos.
Para los que NO tienen ganas de estudiar.
Para los muchos que desean un mundo diferente.

VENDRÁ UN DÍA

Todos los cuentos empiezan con «Érase una vez», pero nosotros queremos iniciar el nuestro diciendo «Vendrá un día…», porque es al futuro adonde debemos mirar. Sin embargo, es imposible hablar del futuro si antes no conocemos y explicamos un poco mejor el presente y el pasado.

Así que ponte cómodo y relájate, no pienses en nada más. Necesitarás silencio, de modo que enciérrate en tu habitación y pide en casa que nadie te moleste, porque vas a estar ocupado con cosas muy importantes. Si tienes sed, bebe; si tienes hambre, come. ¿Tienes ganas de ir al baño? Pues ¿a qué esperas? Date prisa, porque cuando empieces a leer ya no te podrás levantar del asiento.

No será magia, ni mucho menos una ilusión; te llevaremos a una nueva dimensión, aquella que ninguno de vosotros ha visto aún: el futuro.

EL ESPACIO QUE NOS RODEA

¿A dónde iremos?

Iremos hacia el futuro. Iremos montados en la flecha del tiempo, que sale del andén del presente, en la vía 0, y nos llevará más allá de todo lo que podamos imaginar, donde los sueños se hacen realidad. Los más grandes inventores, incluso los más eruditos, fueron antes que todo soñadores, todos más o menos eruditos. No hay ningún misterio, el recorrido es muy sencillo:

ESTUDIAR ⇒ SOÑAR ⇒ PROYECTAR ⇒ CONSTRUIR

¿Te has montado alguna vez en una flecha? Para todo hay una primera vez. Ya viene, está a punto de pasar. Se me ha olvidado decirte que no se va a parar. Va lanzada y no espera a nadie.

Se inicia la cuenta atrás: 3… 2… 1… ¡Allá vamos!

¿Qué se ve desde el cometa Halley?

Imagínate un cometa que se precipita desde el gélido espacio exterior del Sistema Solar hacia el Sol en su elegante órbita elíptica (una especie de círculo estirado).

El cometa será nuestro metrónomo de excepción, y nos servirá para medir el

tiempo que pasa y para ver qué obras grandiosas, invenciones espectaculares y descubrimientos sensacionales ha logrado realizar el hombre.

El cometa Halley es una masa rocosa helada, de unos 370 kilómetros cuadrados de extensión; procede del cinturón de Kuiper, un lugar solitario y tenebroso en los confines del Sistema Solar. Pasa regularmente cerca de la Tierra cada setenta y seis años.

Fue descubierto por el astrónomo Edmond Halley en 1705 pero, precisamente porque es bien visible, era conocido ya desde hacía tiempo: por ejemplo, en 1066 fue testigo de la batalla de Hastings entre los anglosajones y los normandos, que se disputaban Inglaterra, como se puede apreciar en el célebre tapiz de Bayeux, donde aparece en el fondo. Y en 1301 lo ve Giotto y lo pinta en la capilla de los Scrovegni, en Padua.

Ya en épocas más recientes, en 1910, fue fotografiado por primera vez: pasó tan cerca de la Tierra que hizo que esta atravesara su «cabellera» («cometa» quiere decir «con cabellera»), una larga cola de gas luminoso que crea vistas espectaculares.

La siguiente vez que pasó, en 1986, llegamos incluso a enviar una flota de sondas espaciales sobre su superficie. Sin embargo, solamente una de ellas, la europea, llamada *Giotto*, consiguió aproximarse y fotografiarlo (las demás, soviéticas y japonesas, no dieron en el blanco).

En 2062, dentro de cincuenta años, el paso del cometa nos servirá para verificar qué y cómo hemos avanzado en la comprensión del universo y en la solución de los misterios que nos rodean. Por el momento es inútil preocuparse por los pasos sucesivos, en 2138 y 2214: ese futuro está demasiado lejos como para preverlo sin artes mágicas o dotes paranormales. Pero el futuro de los próximos cincuenta años podemos escribirlo ya, hoy mismo.

Es muy probable que, a su regreso, el cometa Halley nos vea como protagonistas de descubrimientos revolucionarios. Seguro que entre vosotros hay un Einstein o una Marie Curie que con una idea innovadora seréis capaces de cambiar radicalmente la historia de nuestro planeta.

Lo hemos visto en el pasado. Piensa en tu tatarabuela, que lavaba la ropa en el lavadero o en el río, incluso en pleno invierno, cuando la nieve lo cubría todo y el agua estaba helada. Imagínate qué cambio supuso la llegada de la lavadora, que no solo ha traído una limpieza mejor y más frecuente, sino que ha permitido a la mujer más libertad y un uso más útil de su tiempo. ¿Y qué decir del

navegador por satélite? También recordarás que, hasta hace poquísimo tiempo, para encontrar una calle había que confiar en un mapa o en los transeúntes, que a menudo respondían: «No soy de aquí». Ahora, el GPS lo ha simplificado todo.

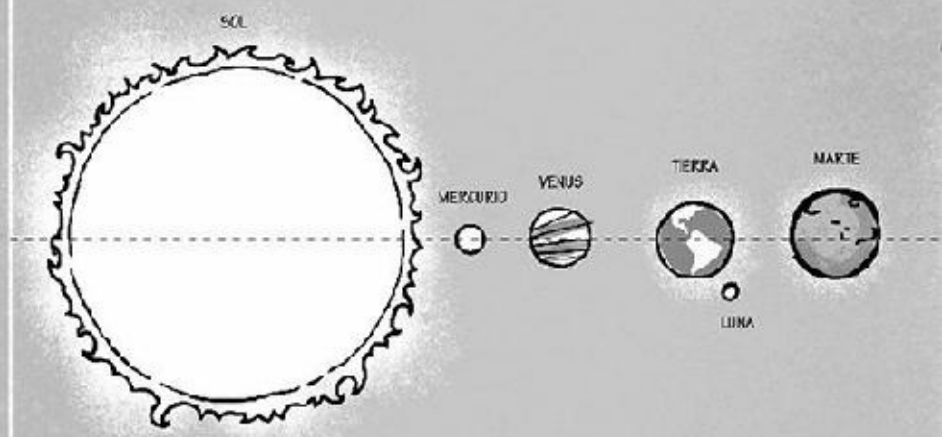
¿Cómo se exploran los planetas del Sistema Solar?

Antes de poner el pie en otros planetas, debemos estudiarlos. Por eso mandamos robots para fotografiarlos y analizarlos, empezando por los más cercanos, por Marte.

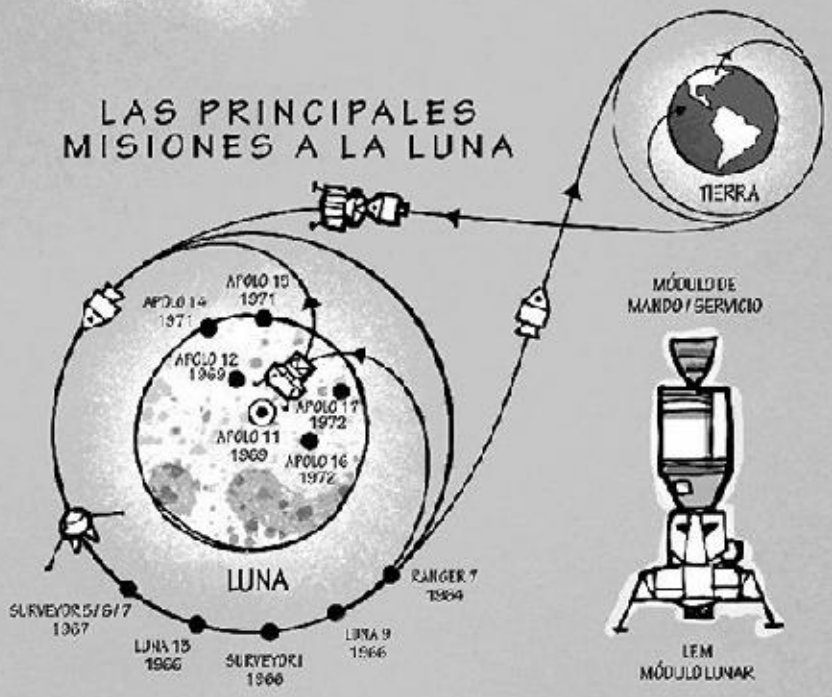
El primer robot construido por los seres humanos que nos envió una foto de un cuerpo celeste fue el *Luna 9* soviético. El robot, lanzado al espacio el 31 de enero de 1966, se posó suavemente en la Luna y nos mostró las primeras fotografías del paisaje lunar. Gracias a su sistema de televisión incorporado, se enviaron a la Tierra siete sesiones con un total de unas ocho horas de filmaciones. Desde entonces, decenas de sondas robóticas han fotografiado de cerca casi todos los cuerpos del Sistema Solar o han aterrizado en ellos.

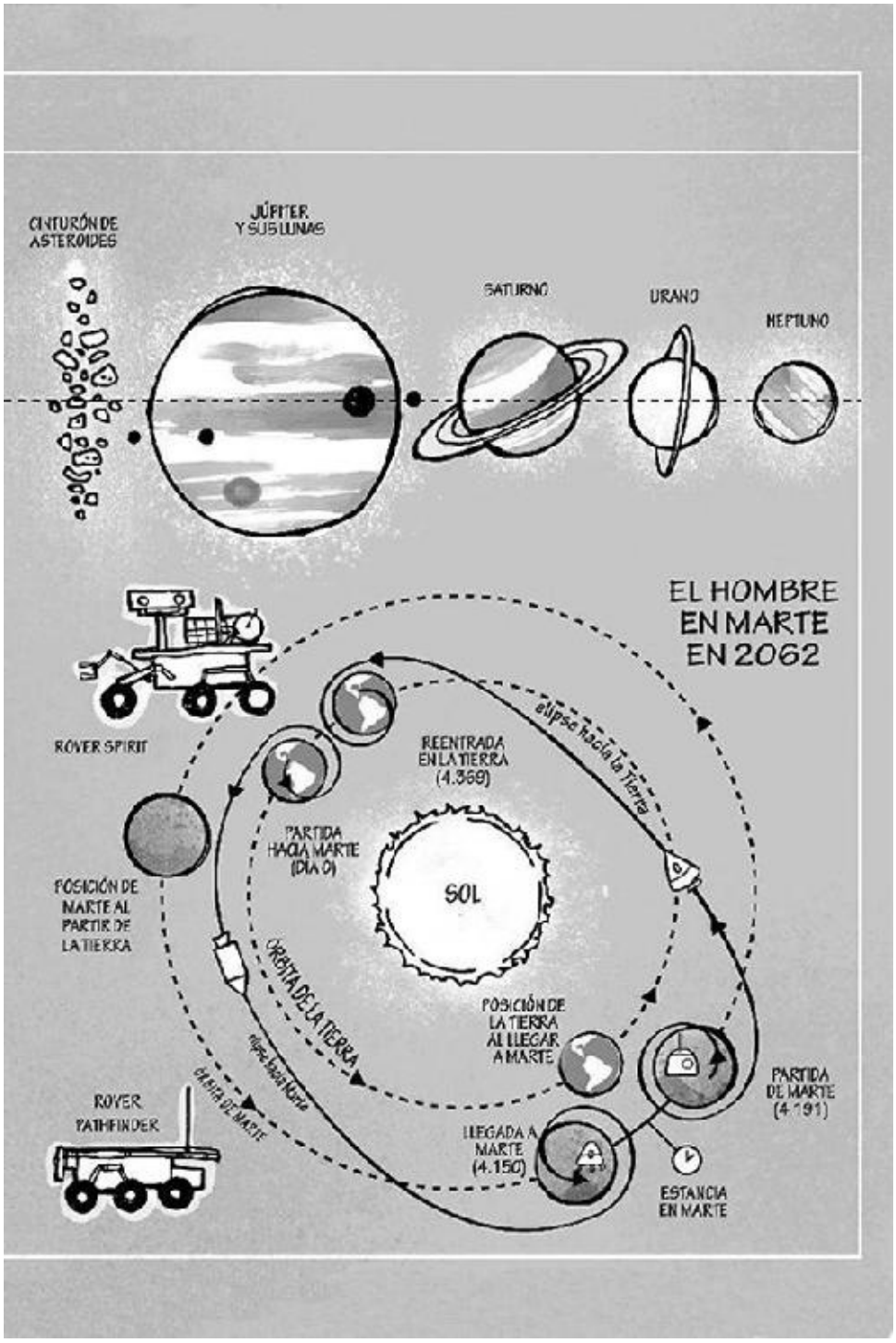
Los últimos trotamundos espaciales se llaman *rovers*: alimentados con energía solar gracias a paneles, están diseñados para moverse por terrenos tortuosos y superar grandes obstáculos. Para que te hagas una idea, imagínate el *rover* como un *jeep* de seis ruedas, dotado de instrumentos para el estudio del suelo y de una antena que transmite los datos y las imágenes a un satélite situado en la órbita marciana y que hace de puente hacia la Tierra. Los únicos *rovers* que el hombre ha conseguido controlar directamente, como un coche teledirigido, son los modelos lunares. Los otros, al estar mucho más lejos, son difíciles de dirigir: para un intercambio de mensajes entre la Tierra y Marte se puede necesitar media hora a la velocidad de la luz, por término medio. En el futuro tenemos que conseguir que sean independientes y dotarlos de inteligencia artificial, desarrollando algoritmos «lógicos» que permitan a los *rovers* afrontar lo imprevisto: por ejemplo, cuando se encuentren delante de una roca insuperable, tienen que ser capaces de decidir cómo rodearla.

EL SISTEMA SOLAR



LAS PRINCIPALES MISIONES A LA LUNA





El *Curiosity*, enviado por los norteamericanos en 2011, aterrizó en Marte en agosto de 2012. Es el *rover* más bonito que se ha visto jamás, más grande que el *Spirit* y el *Opportunity*, representantes desde 2003 de la segunda generación de robots marcianos, que tienen el tamaño de una mesa de cocina y son capaces de recorrer kilómetros y transmitir imágenes. Los sofisticados instrumentos del

Curiosity fueron construidos en un laboratorio francés de Toulouse. Cuando el vehículo espacial que lleva a bordo el *rover* llegue a su destino, desacoplará sus seis ruedas, que aterrizará sin problemas gracias a un sistema llamado «grúa del cielo». En cuanto toque el suelo y abra los paneles solares empezará a chirriar (por así decirlo, porque las ruedas están hechas de un aluminio especial).

La NASA está organizando una misión de exploración llamada Maven (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) mediante una sonda espacial que será lanzada en noviembre de 2013 y entrará en la órbita de Marte. Sus objetivos científicos son estudiar la atmósfera marciana y el impacto de las partículas del Sol, medir los campos magnéticos de la ionosfera y la interacción con el viento solar.

En 2016, el proyecto Exomars prevé la utilización de un *rover* para explorar la superficie marciana. El proyecto está firmado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en colaboración con Rusia. Por primera vez, el *rover* está programado para excavar un agujero en la superficie de Marte con un taladro construido en Milán.

Y a propósito de primeras veces, en 2022 está prevista la misión europeo-norteamericana Mars Sample Return, que tiene como objetivo recoger rocas y muestras del suelo marciano y por vez primera los traerá a la Tierra. Ojalá encontráramos antenas verdes, pero lo más probable es que haya bacterias o mohos incrustados en alguna roca o dentro de una grieta. No tan bonitos como ET, el afable extraterrestre de Spielberg, pero por lo menos una demostración de vida.

Abundan —también en Europa, naturalmente— los cerebritos y los apasionados, pero faltan fondos para financiar las misiones y las investigaciones, además de para formar la generación de investigadores (la tuya) que podrá ocuparse de explorar Marte. De todos modos, lo importante es que alguien se ocupe de ello, por eso bienvenidas sean las colaboraciones internacionales: en el fondo, para los alienígenas (ya sean hombrecillos verdes, bacterias o mohos) los terrícolas somos todos iguales.

¿Marte está vivo o muerto?

Durante siglos hemos investigado a nuestro «vecino» imaginando su paisaje; cuando los telescopios nos permitieron verlo más de cerca, empezamos a tener la esperanza de advertir señales de vida, incluso a creerlo. Desde el momento en que mandamos las sondas pudimos descubrir que Marte tiene mucho que ofrecer y que un viaje a este planeta no nos dejaría insatisfechos. En él se encuentran el volcán más grande del Sistema Solar, un bellísimo gran cañón y desiertos fascinantes. Si andando por Marte nos topáramos con formas de vida, tendríamos la demostración de que esta ha surgido ya dos veces dentro de un sistema planetario, lo cual nos llevaría a pensar que el universo está lleno de vida.

¿Está prevista una misión humana a Marte?

Hemos visitado la Luna seis veces entre 1969 y 1972, y después de Neil Armstrong otros once jóvenes norteamericanos han tenido la suerte de caminar sobre ella. La siguiente etapa será Marte. Para 2062.Y no esperemos solamente eso.

La cuenta atrás ha comenzado: podrías ser tú el primero en poner el pie en la tierra roja, compuesta sobre todo de óxido de hierro.

Si en marzo de 1934 alguien le hubiera dicho a la madre de Yuri Gagarin que veintisiete años después su hijo se iba a convertir en el primer hombre en el espacio, al visitante de la fábrica de la Unión Soviética lo habrían tomado por loco y echado a la calle sin contemplaciones.

Pero seguro que la señora Anna Gagarina se habría acordado de ello el 12 de abril de 1961, cuando fueron corriendo a su campo de girasoles a decirle a gritos lo que había retransmitido Radio Moscú: Yuri Gagarin, a bordo del *Vostok 1*, era el primer ser humano que orbitaba alrededor de la Tierra.

La historia se repite y eso es lo que le podría pasar a tu madre; podrías ser precisamente tú el que partiera hacia Marte: el niño que camine sobre el planeta rojo ya ha nacido.

Lo más importante para llegar a Marte es el medio de transporte: desde luego no es posible viajar hasta allí con una lanzadera espacial, con la velocidad de curvatura del *Enterprise*, la nave espacial de la serie *Star Trek*, ni con nuestro

viejo *Shuttle*, el transbordador espacial de propulsión química que utiliza combustibles sólidos o líquidos; no podríamos llevar la enorme masa de carburante necesario, y además, la velocidad generada por la propulsión química es limitada y tardaríamos varios años en ir y volver, sometiendo a una dura prueba a los astronautas, confinados en unos pocos metros cuadrados durante todo ese tiempo.

¿Podrías estar años y años en un habitáculo del tamaño del sótano de tu casa?

Existe ya un proyecto de astronave de propulsión nuclear y está firmado por Carlo Rubbia, un físico italiano que ha sido galardonado con el premio Nobel.

En este momento sería suficiente con encontrar a alguien que financiara la mayor empresa de la humanidad, que de todas formas tiene un coste inferior al patrimonio que invierten los seres humanos en guerras…

Una astronave de propulsión nuclear utiliza energía allí donde nos la proporciona la madre naturaleza: en el núcleo del átomo. De hecho, se puede extraer energía del núcleo, formado por protones con carga positiva y neutrones con carga neutra, ligados unos a otros por la denominada fuerza nuclear fuerte, necesaria para mantener unidas las partículas con carga del mismo signo, que normalmente se rechazarían con violencia.

Hay solo dos maneras de obtener energía del núcleo de un átomo:

1. Rompiéndolo con un neutrón libre (fisión), como sucede en el centro de la Tierra, en el núcleo, y en una bomba atómica;
2. Uniendo varios núcleos (fusión), como sucede en el interior de las estrellas.

¿Cómo se construye un motor de fisión nuclear?

En realidad no es tan complicado. Probemos a dar la receta.

INGREDIENTES:

- Una pizca de neutrones libres.

- Un vaso de núcleos de uranio, plutonio o americio.
- Un tubo de 5-10 metros de largo y 1 metro de diámetro.
- Una boquilla (es decir, un agujero para que salgan los gases de descarga, como el tubo de escape de un coche).
- Hidrógeno a 1 atmósfera de presión: con esto basta.

PREPARACIÓN:

Toma un neutrón libre y golpea con fuerza un núcleo pesado de un elemento de la tabla periódica de los elementos. Tiene que ser pesado, es decir, tener una masa muy elevada.

En nuestro caso, nos sirven el uranio con un peso atómico de 238 y el plutonio con 239, pero también el americio con 242.
Cuando el neutrón golpea el núcleo, este último tiene bastantes probabilidades de romperse en dos pedazos, que llamamos fragmentos de la fisión. Estos fragmentos, que tienen una fuerte carga positiva, se rechazan con fuerza y escapan a gran velocidad transportando energía cinética.
Ahora coloca el material fisible (uranio, plutonio, americio) en una fina capa sobre la superficie interna de un cilindro lleno de gas, por ejemplo hidrógeno. Los fragmentos que escapen hacia el interior serán detenidos por el propio gas, que como consecuencia se calentará. Si utilizas un buen material de fisión y un tubo de las dimensiones adecuadas, el gas puede alcanzar temperaturas muy altas, hasta rozar los 10 000 grados. Si después pones en una de las dos bases del cilindro una boquilla que permita salir el gas, habrás construido un estupendo motor de fisión nuclear.

Desde luego, los ingredientes no se encuentran en el mercado, y unas estructuras de un material que resista semejantes temperaturas están todavía por inventar.

Además, como el material fisible es radiactivo, por razones de seguridad será preciso enviarlo al espacio para montarlo en un taller situado, por ejemplo, en el punto de equilibrio gravitatorio entre la Tierra y la Luna (punto de libración).

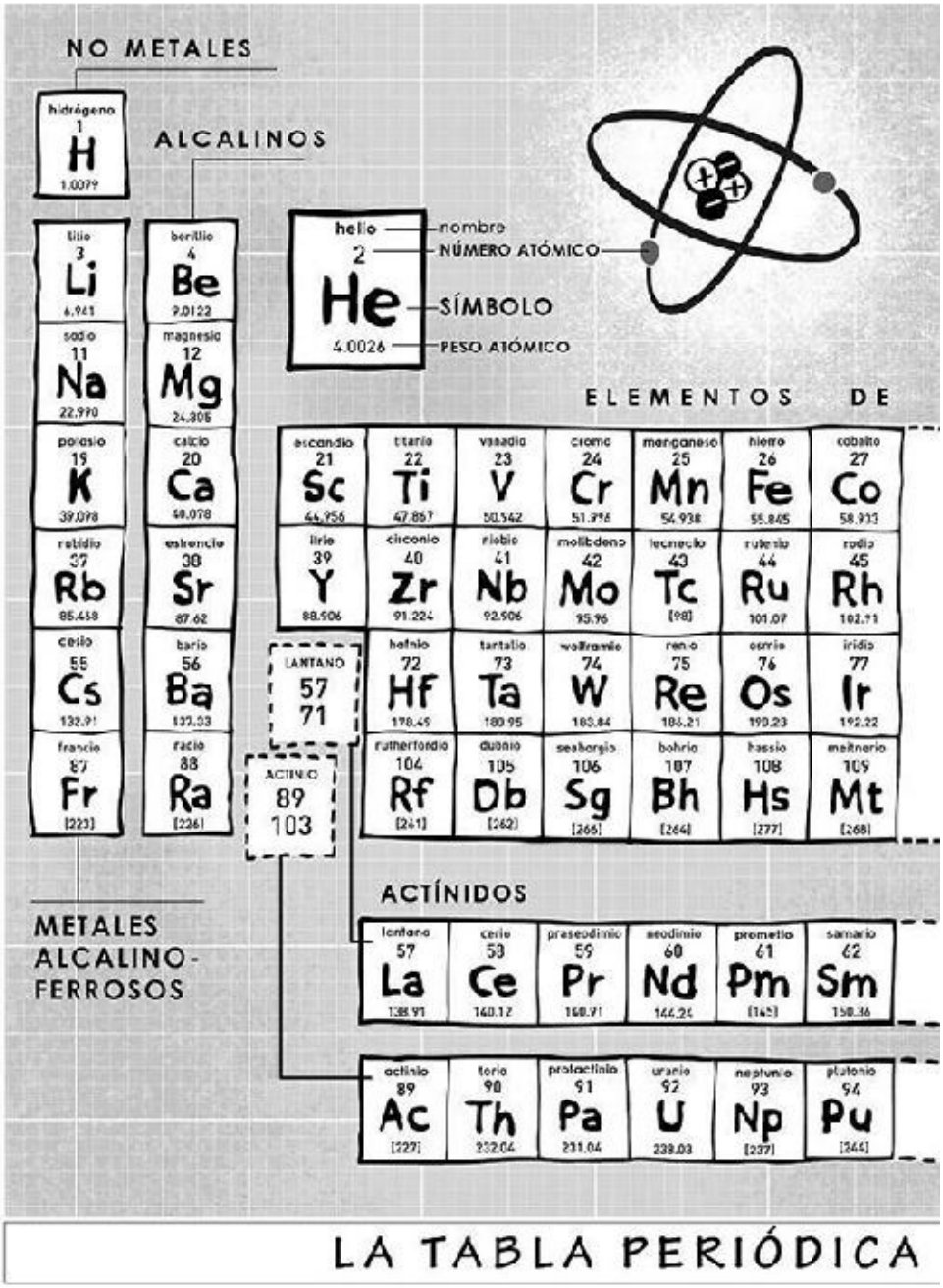
El material, incluyendo las piezas de la astronave para el viaje interplanetario, partirá con una lanzadera desde un puerto espacial terrestre, que deberá hallarse en una latitud compatible con la inclinación del plano de la eclíptica, en el que están todos los planetas.

En el taller espacial, un equipo de ingenieros aeroespaciales montará la astronave.

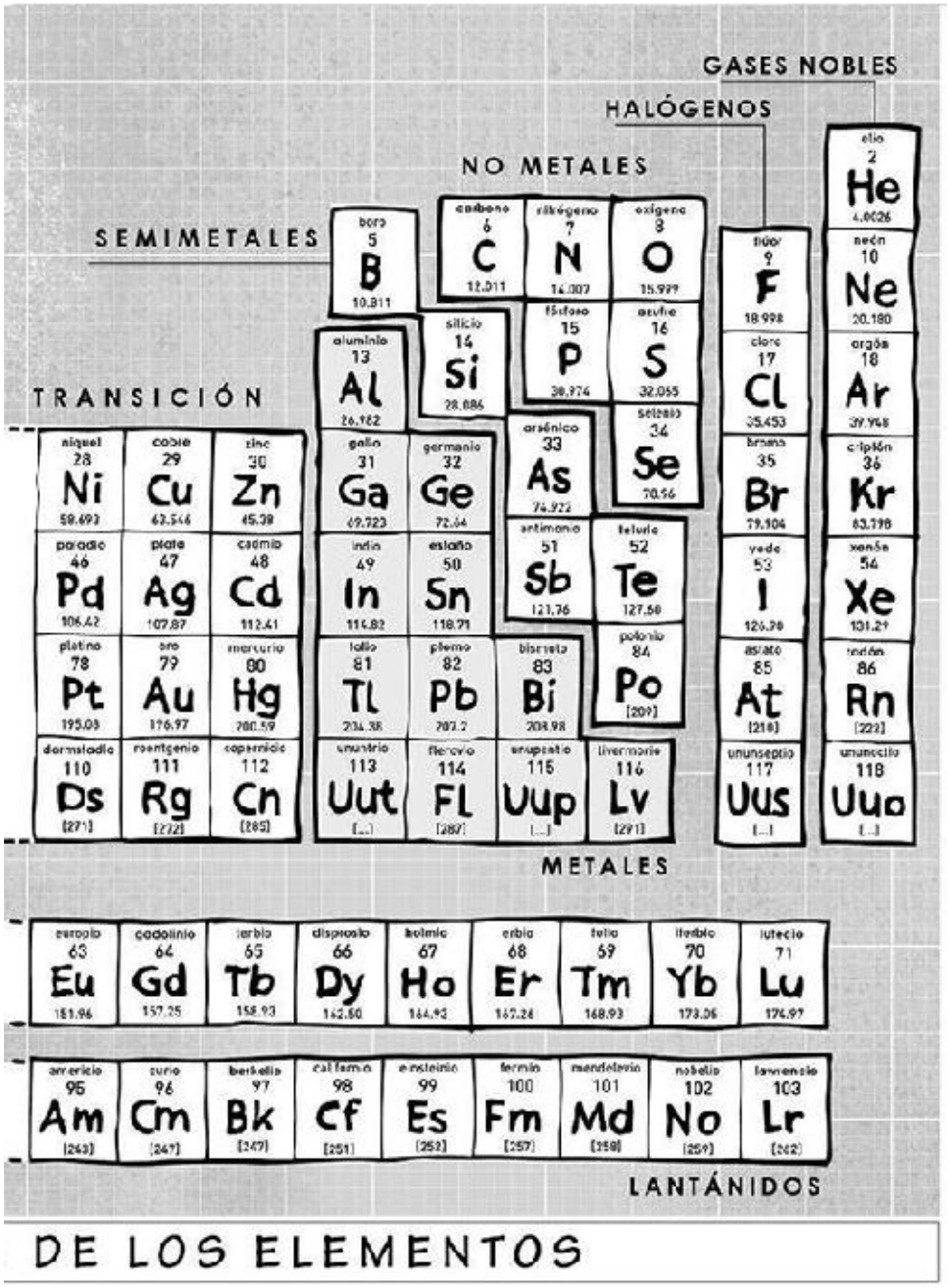
Pero no será suficiente. Necesitarás una flota espacial compuesta por medios TUG —o de apoyo— que acompañen tu nave a Marte y otros que te sirvan para descender al suelo marciano. En sus bodegas habrá material para la construcción de un campamento base en el planeta, víveres y aire para la tripulación, materiales para las transmisiones y piezas de repuesto. En resumen, tendrán la función de cargueros. Los enviarás antes, porque, al viajar con la vieja propulsión química, tardarán mucho más tiempo que tú, que por el contrario tendrás que esperar el momento propicio para partir. Marte tarda el doble que la Tierra en girar alrededor del Sol. Por lo tanto, será necesario sincronizar la partida con el movimiento de los dos planetas. Así, en la astronave nuclear llegarás a tu destino en pocos meses. Después habrá que aparcar en la órbita y acoplar el módulo de descenso.

Un último detalle: para poner el pie en Marte tienes que ser el mejor biólogo o geólogo planetario que haya habido jamás en la Tierra.

Todo esto podrá ocurrir en un futuro cercano si eres capaz de formar un equipo eficiente y especializado y logras desarrollar todas las tecnologías necesarias. Nosotros, en la actualidad, estamos preparando el camino.



LA TABLA PERIÓDICA



¿Cómo será la permanencia en Marte?

Marte es un gran desierto rojo donde la atmósfera es menos de una centésima de la terrestre y donde el agua no puede existir en estado líquido debido a la combinación de bajas presiones y temperaturas; estas últimas son tan bajas que hacen que el invierno en Siberia parezca un verano a la orilla del mar.

En Marte te esperan días de duro trabajo e investigación. Habrá que cartografiar el terreno, estudiar su composición en profundidad y en superficie, analizar las características de la atmósfera y la velocidad y frecuencia de los vientos marcianos. En fin, estarás ocupadísimo.

En los momentos de descanso, el suelo marciano te ofrecerá numerosas oportunidades. Por ejemplo, podrás esquiar sobre la nieve de dióxido de carbono del Monte Olimpo: hacerse 27 kilómetros de descenso, con acrobacias y saltos mortales, no es moco de pavo, teniendo en cuenta el entusiasmo que puede producir dar saltos con los esquíes teniendo tu potencia muscular pero solamente la tercera parte de tu peso. La atmósfera de Marte, como hemos dicho, está muy enrarecida y la aceleración de la gravedad es inferior a la terrestre, de manera que una persona que en la Tierra pesa, por ejemplo, 70 kilos, en Marte pesará unos 26,3. ¡Imagínate qué piruetas de *snowboard* podrás hacer!

Sin que te des cuenta, pronto habrán pasado más de seis meses. Por desgracia no podrás quedarte más tiempo, porque la falta de campo magnético expone al organismo a dosis de radiaciones cósmicas y solares peligrosas para la salud e incluso mortales.

Si quieres vivir allí durante periodos más largos, tendrás que prever moradas subterráneas que te protejan de los rayos nocivos y de las tormentas solares que pudieran caer sobre el planeta, un poco como las tempestades que sorprendieron a Colón y a Magallanes en el mar.

Hay quienes opinan que es posible hacer habitable Marte mediante un proceso de «terraformación», un método consistente en liberar grandes cantidades de gas de efecto invernadero en la atmósfera, aumentando su temperatura. Esto provocaría que se evaporara dióxido de carbono de los casquetes polares marcianos y el hielo se derritiera. De esta manera, Marte tendría agua líquida, un clima más similar al terrestre y una atmósfera más densa, a base de dióxido de carbono. Para terminar, habría que llevar plantas que enriquecieran la atmósfera con oxígeno a través de la fotosíntesis.

Es una hipótesis fabulosa, pero muy costosa y desde luego lenta: ¡el proceso entero duraría más de cien mil años! Por el momento, el único modo de sobrevivir en Marte sería hacer como las marmotas: permanecer bajo tierra al

menos la mitad del tiempo.

¿Cómo será el viaje de regreso de Marte?

Las mayores dificultades surgirán en el viaje de regreso. Como sucede en la montaña, casi todas las víctimas (uno de cada dos de quienes consiguen llegar a duras cumbres como el K2) mueren durante el descenso, en el momento en que creemos haber pasado lo peor.

¡Así pues, una vez terminada la estancia en Marte, para volver a casa tendrás que confiar en que todo funcione a la perfección!

Montarás en tu módulo de ascenso enviado desde la Tierra. Entretanto, el equipo que se ha quedado en la astronave se estará ocupando del abastecimiento de combustible, vaciando los depósitos enviados desde la Tierra.

Como tendrás ganas de regresar a toda prisa, seguirás la órbita de Hohmann, descubierta por un experto alemán en mecánica celeste que calculó las órbitas más económicas para trasladarse entre los planetas del Sistema Solar.

Cuando llegues al taller espacial entre la Tierra y la Luna, la astronave iniciará las maniobras de atraque. Fin de la carrera.

Los miembros del equipo bajaréis a la Tierra en una lanzadera de propulsión química y seréis recibidos como héroes. Pero más que nada os encantará recuperar la gravedad terrestre, que os permitirá caminar con los pies en el suelo y comeros una rica *pizza* que se esté quieta en el plato sin andar flotando por ahí.

¿Cómo exploraremos los asteroides?

Antes de llegar a Marte, para aprender más sobre navegación espacial sería interesante visitar un cuerpo celeste que pase (relativamente) cerca de la Tierra, por ejemplo un asteroide. En el Sistema Solar hay millares; la mayoría son pequeños, pero otros —muchos miles— son lo bastante grandes para poder aterrizar en ellos. Casi todos proceden del llamado cinturón de asteroides, que

está más allá de Marte, pero alguno viene a darse un paseo cerca de nuestro planeta. Para el comandante de una astronave sería un óptimo adiestramiento aprender a cazar uno al vuelo.

¡Vaya! Aterrizar en un asteroide que viaja a una velocidad de decenas de kilómetros por segundo en relación con la Tierra…, ¿qué te parece? Sería la primera misión humana. Hasta hoy hemos enviado solamente sondas. La *Hayabusa* (palabra japonesa que significa «halcón») nos ha regalado espléndidas fotos del asteroide Itokawa. Llegó hasta él valiéndose de propulsión eléctrica de alto rendimiento y de una extrema precisión en la navegación interplanetaria. La sonda logró aterrizar para recoger un poco de polvo de asteroide, pero por desgracia no encontró el camino a casa. Luego, en junio de 2010, la noticia inesperada. La sonda, después de haber vagado por el espacio durante siete años, entró en la atmósfera terrestre y se autodestruyó, pero la cápsula, provista de escudos térmicos, aterrizó con su paracaídas en el desierto australiano. Cuando los científicos la abrieron para verificar si estaba dentro el esperado botín, encontraron que *Hayabusa* había traído a casa el polvo. Después de cinco meses de análisis, cantaron victoria: *Hayabusa* contenía 1500 granos de polvo del asteroide Itokawa. Fueron las primeras muestras de asteroide llegadas a la Tierra. Una compañía norteamericana está reuniendo fondos para organizar expediciones a asteroides en busca de metales preciosos. Bajo sus desérticas superficies podrían esconderse ricas minas.

Pero, en el fondo, siempre deseamos tocar un asteroide con las manos y los pies. Probemos a realizar la simulación de una misión futura.

Te encuentras a tres o cuatro millones de kilómetros de casa. Hay que fiarse de los cálculos hechos en la Tierra y esperar que tu aeronave esté en el lugar preciso en el momento en que pasa el asteroide. El que te interesa fue descubierto hace poco, y quién sabe si los cálculos sobre la posición son exactos.

A 20 000 kilómetros de distancia, el asteroide resulta amenazador con sus afiladas puntas semejantes a los dientes de un dragón. La aeronave está cerca del suelo, faltan *solamente* unos pocos centenares de kilómetros para el contacto. Contienes la respiración, temes una colisión, pero de repente se te aparece una pequeña llanura.

A 55 kilómetros del suelo se apagan los motores principales, que servían para que viajase la nave casi a la misma velocidad del asteroide, siguiendo una ruta convergente. Se encienden los propulsores laterales para posicionar el vehículo sobre la zona elegida y, finalmente, se accionan los retrocohetes para

frenar la caída, lo que permite un «asteroidizaje» suave. Y se efectúa el *touchdown*: la nave se posa intacta sobre la superficie. Inmediatamente se accionan los sistemas de anclaje mecánico múltiple que, introduciéndose en el terreno, impiden que la cápsula espacial flote en la débil gravedad del pequeño asteroide.

Una vez anclada la aeronave, es tu turno: ahora procedes a explorar el terreno. Estás sujeto por un robusto «cordón umbilical», indispensable porque la débil gravedad del cuerpo celeste no te mantiene en el suelo. Si en la Luna se suben muchos metros al dar un salto, en un asteroide podría uno hasta perderse en el espacio.

Asegurado de este modo, puedes pasearte por la superficie con la cámara fotográfica, los analizadores y un pequeño pico, además de una redecilla para llevarte a casa muestras de rocas antiquísimas (los asteroides han permanecido intactos desde la formación del Sistema Solar, hace unos 5000 millones de años).

Una vez aprovisionado, regresas a la Tierra; los astrobiólogos te esperan impacientes para «interrogar» a las muestras que has traído sobre su mundo originario.

¿Ha empezado la caza de cometas?

En 1986, una armada entera, o mejor dicho una flotilla de sondas espaciales, se puso en marcha hacia los cometas. Se llamaba Armada de Halley y estaba compuesta por un grupo de sondas nacidas para examinar el cometa Halley a su paso por la Tierra.

Los soldados-sonda habían sido enrolados por la Agencia Espacial Europea, la Unión Soviética y Japón. Conocemos sus nombres, que han hecho historia en la astrofísica, y sus valerosas hazañas: *Giotto, Vega 1* y su gemela *Vega 2, Suisei, Sakigake*. Después de dar la vida por nosotros hasta su último aliento, ahora están inactivas. Viajan por el espacio a 70 kilómetros por segundo y seguirán haciéndolo hasta que algo las detenga.

En 2004 partió de Europa una robotita a modo de «chica para todo» llamada *Rosetta*. La llegada a su destino, el cometa Churyumov-Gerasimenko, está prevista para 2014, momento en que *Rosetta* empezará a orbitar en torno al

cometa y desacoplará un módulo de aterrizaje que descenderá a la superficie. Después de *Stardust*, será el segundo robot espacial que recoja polvo de cometa, muestras del suelo cuyos datos serán enviados a la Tierra para ser analizados. El módulo fue construido en un laboratorio italiano y se le llamó *Philae*. Quien sugirió el nombre fue Serena, una chica italiana de 15 años: Philae es una isla del Nilo donde en 1800 fue hallado un obelisco con una inscripción bilingüe que ayudó a la comprensión de los jeroglíficos, trabajo iniciado con la famosa Piedra de Rosetta. Todo comenzó en 1799, durante la campaña de Napoleón en Egipto. Un pelotón de legionarios franceses bajo el mando de un joven capitán tenía la tarea de construir una fortificación alrededor de Al Raschid, una aldea lejana, utilizando las piedras disponibles en el lugar. Cuando los soldados llamaron al oficial y le preguntaron si debían usar también una piedra grande y lisa, el joven capitán vio una estela negra bien trabajada y grabada con caracteres extraños. Había estudiado y reconoció el griego, pero no las otras dos lenguas, que luego resultaron ser escritura demótica y jeroglíficos, caracteres estos últimos que nadie había logrado leer hasta entonces. Gracias a este descubrimiento casual, se encontró por primera vez un mismo texto escrito en tres lenguas, dos de ellas conocidas y una desconocida. Fue posible así avanzar en la comprensión de los jeroglíficos.

Al acabar la misión Rosetta, también nosotros lograremos descifrar la lengua de los cometas y comprender sus misterios.

¿Cómo se captura un cometa?

Hasta hoy hemos enviado sondas a los cometas. Nadie ha intentado nunca capturarlos. Podría ser muy interesante traer uno entero a la Tierra para estudiar su composición y contenido. Con algo de suerte y un poco de fantasía, lo conseguirás.

Los cometas no son solamente fríos mundos de hielo y roca que rozan los extremos confines del Sistema Solar: representan reservas infinitas de agua. Los océanos terrestres —lo habrás estudiado— también tuvieron sus orígenes en el impacto con los cometas. El resto del agua procede de los vapores expulsados por los volcanes desde el eón Hádico, el periodo infernal de hace 4500-4000

millones de años, cuando la Tierra estaba muy caliente y era poco hospitalaria.

Podrás atrapar un cometa con un método bastante sencillo. Probemos de nuevo a hacer una simulación.

Procúrate un arnés hecho con un material sintético muy resistente y un remolcador espacial de última generación. Cuando le pongas al cometa esos grandes «calzones» de malla, presta atención a la cola de finos polvos y gases que sale de la parte donde da el sol y asegúrate de que estén bien pegados al núcleo compacto.

Ahora fija cuatro largos tirantes desde el borde de los «calzones» hasta el gancho del *Space Tug*, el remolcador espacial (que, atención, deberá tener una potencia proporcional a la masa y a la velocidad del cometa).

Ya está casi todo hecho. Ahora te falta decidir adónde quieres llevarlo.

Te haremos algunas sugerencias. Evita ir a Venus: el agua se evaporaría antes de tocar la superficie y tú te tostarías como un pollo en el asador. A la Tierra no vale: ya hay agua. Por el contrario, en Marte sería muy útil, por ejemplo para suministrar agua a los futuros colonos terrestres.

En cualquier caso, una vez capturado el cometa podrías analizarlo y descubrir que entre las moléculas de H2O hay también grandes moléculas necesarias para la creación de vida. En suma, pregúntate qué fue lo que trajo a la Tierra la lluvia de cometas de hace unos 4000 millones de años. Si hoy existimos es, en parte, gracias a aquella lluvia.

¿Y si hubiera peces polo bajo los océanos de Europa?

En el espacio, cuando hablamos de Europa no nos referimos a nuestro continente sino a una luna de Júpiter, es decir a uno de los numerosos satélites que orbitan alrededor de este gigantesco planeta, el más grande del Sistema Solar.

Algunos indicios señalan la presencia de agua bajo la superficie helada de Europa. Se piensa que hay océanos inmensos de agua salada.

Y se supone que Encélado, el gélido satélite de Saturno, tiene la misma estructura. Es más, en su caso se han observado chorros de agua, en forma de

microcristales de hielo, que surgen de las grietas de su corteza.

Para andar por Europa y Encélado tendrás que prepararte para una misión «rompehielos». En especial, te será indispensable llevar una potente barrena que te permita perforar el estrato superficial, cuyo espesor no conoces (podría ser de centenares de kilómetros), y llegar hasta el agua. Será necesario un minigenerador nuclear que suministre energía a la barrena. Después de hacer el agujero, deslizarás por él una cámara de vídeo con *zoom*, equipada con una lámpara lo bastante potente para iluminar hasta una distancia de muchos metros, si el agua es límpida. Será emocionante lo que descubras: en el agua salada, rica en nutrientes procedentes de los volcanes que se levantan en el fondo del océano, exactamente igual que en la Tierra, encontrarás casi con toda seguridad formas de vida. Quién sabe cómo serán…

Cuando vuelvas y lo cuentes a tus semejantes, se mostrarán incrédulos y dirán: «¡Cosas de ciencia-ficción!», pero llevarás pruebas. En el telediario pondrán una estupenda grabación de peces alienígenas, y los titulares en la primera plana de los más importantes diarios cerrarán la boca hasta al más escéptico. Pero si hay alguno que aún no se fía, podrás restregárselo por la cara. Sacarás de la mochila un pez extraterrestre, pescado con anzuelo, que en el viaje de regreso habrás metido en el congelador de la aeronave para que no apeste.

Entretanto, habrás hecho todos los análisis necesarios: habrás comprendido que estos organismos, como nuestros peces polares, no se congelan gracias a la presencia de moléculas y sales disueltas en los fluidos biológicos. Es decir, tienen anticongelante como el que se pone en los coches. La diferencia es que el efecto criptoprotector viene dado por la presencia de unas proteínas *antifreezing*.

Tal vez encuentres peces polo como los que pueblan las gélidas aguas de la Antártida, auténticos superpeces que, además de adaptarse al clima polar, llegan a modificar sus propias características biológicas y acaban teniendo, por ejemplo, la sangre incolora como el agua o el esqueleto.

¿Existen planetas fuera del Sistema Solar?

Giacomo Leopardi, más allá del horizonte oculto de aquel seto que le era tan querido, veía más cosas de las que vemos nosotros hoy, casi doscientos años más

tarde.

En su libro *Opúsculos morales* (1827) escribe: «Estallarán tantos millares de otros mundos que no habrá una pequeñísima estrella en la Vía Láctea que no tenga el suyo». En conclusión, había visto ya los planetas «extrasolares», planetas que giran alrededor de otras estrellas.

Tras el descubrimiento del primer planeta que orbita alrededor de una estrella, en 1995, actualmente llevamos catalogados casi mil en nuestro vecindario galáctico, y estamos trabajando en millares de nuevos candidatos.

Mediante la astronomía de alta definición encontraremos planetas alrededor de las estrellas. Tenemos que averiguar, por una parte, si el fenómeno planetario es común a todas las estrellas, y, por otra, qué proporción hay de planetas rocosos, como nuestra Tierra, con respecto a los gaseosos.

La astronomía del espacio nos será de gran ayuda, porque nos permitirá trabajar por encima de nuestra atmósfera, que al ser turbulenta dificulta las observaciones con los telescopios terrestres. En el espacio se utilizarán grupos de telescopios de calibre medio que se pondrán a trabajar juntos, apuntando todos a la misma estrella, con técnicas especiales que posibiliten sumar la capacidad de los diversos instrumentos para obtener un telescopio virtual de enorme diámetro. ¡La unión hace la fuerza!

Se puede hacer también mediante la radioastronomía, es decir, la astronomía basada en las ondas de radio que se captan con los radiotelescopios. En un futuro próximo uniréis la red terrestre de radiotelescopios con una o más antenas en órbita, obteniendo un telescopio todo lo grande que queráis, sin que os limiten las dimensiones del planeta en el que hoy vivimos.

Partiendo de los instrumentos actuales e imaginando una mejora de la tecnología, examinaréis uno por uno todos los planetas extraterrestres del catálogo que os suministrará la sonda *Gaia*, un detective espacial a la búsqueda de nuevos planetas que partió en la primavera de 2012. Se trata de una misión capaz de medir con altísima precisión las posiciones de las estrellas y averiguar por su movimiento si a su alrededor giran sistemas planetarios.

¿Cómo se formaron los planetas a los que iremos en el futuro?

La dinámica es siempre la misma, y es aquella gracias a la cual se formó la Tierra.

Alrededor del ecuador de las estrellas recién nacidas se forma un disco de polvo y gas compuesto por la misma materia de la nube madre que ha generado la estrella. Lo llamamos «disco protoplanetario». Dentro de este disco se encuentran los granos interestelares, una especie cósmica poco conocida pero indispensable para la arquitectura del universo. Se trata de partículas minúsculas pero suficientes para proporcionar a las moléculas un sitio donde agarrarse.

Poco a poco empiezan a unirse unos a otros y rápidamente se convierten en objetos que pasan de dimensiones del orden de un metro a peñascos con un kilómetro de diámetro, los denominados «planetésimos».

A partir de este momento basta la fuerza de la gravedad para agregar masas cada vez más grandes, hasta obtener embriones planetarios.

Por poner un ejemplo, imagina que el universo es una gran olla de cobre en la que estamos cocinando un puré. Las partículas se unen entre sí y forman grumos, que se van haciendo cada vez más grandes. Lo mismo sucede con los planetas.

¿Existe en alguna parte un planeta tan bello como la Tierra?

Hay paisajes terrestres que nos dejan sin respiración: las llamas del Sol en el crepúsculo sobre la superficie encrespada del mar, cumbres nevadas que parecen desafiar al cielo, extensiones de prados verdes. Por no hablar de los olores: el de la hierba recién cortada, el de los tilos en flor, el del mar y las plantas de monte. Si no puedes renunciar a esas sensaciones, lo que tienes que encontrar es un planeta rocoso que tenga las siguientes características:

- una masa comprendida entre la de la Tierra y un máximo de diez veces más;
- una órbita casi circular;
- una distancia apropiada a la estrella respectiva, que permita que el agua permanezca en estado líquido (demasiado cerca se evaporaría, como en el

caso de Venus y Mercurio; demasiado lejos se congelaría, como en el de Encélado y Europa);

- la estrella debe ser de mediana edad, ni demasiado joven e inestable ni demasiado vieja, es decir, cansada de brillar;
- una atmósfera que sea retenida por la gravedad;
- un campo magnético que pueda proteger de las radiaciones dañinas que vienen del espacio.

Entre los numerosos planetas que estamos localizando, más tarde o más temprano encontraremos uno así. Es más, entre vosotros está aquel que descubrirá una gemela de la Tierra. Pero lo difícil vendrá después. Tendréis que analizar su atmósfera para saber si es capaz de albergar vida. La vida en la Tierra está muy diversificada, aunque toda nazca de las mismas bases bioquímicas, y de todas formas se trata de datos relativos a un solo planeta. Estudiando cómo podrían haber creado vida otros planetas llegaremos a mirarnos a nosotros mismos de una manera más profunda.

LA MATERIA Y LA ENERGÍA DEL UNIVERSO

Aunque los astrónomos estudian el universo desde siempre y con el tiempo se han dotado de instrumentos cada vez más sofisticados para hacerlo (desde telescopios en satélites a enormes ordenadores), no tenemos más remedio que admitir que conocemos y hemos comprendido únicamente el 4%. Si coges un folio y lo doblas 90 veces, increíble pero cierto, se llega a las dimensiones del universo observable, que tiene un diámetro de unos 14 000 millones de años luz, es decir, 1026 metros.

¿Qué hemos entendido del universo y cuánto falta por descubrir?

En resumen: hemos entendido poco y falta por descubrir casi todo…, porque ni siquiera después de haber visitado un asteroide, capturado un cometa y habitado en Marte, en una ciudad subterránea, habremos comenzado la verdadera exploración del universo.

Para saber qué hemos entendido debemos partir de un número «mágico» escrito en el tiempo: el 4440. ¡No lo olvides! En este número está contenido todo lo que la humanidad ha intentado hacer mirando a las estrellas con los medios que sucesivamente tenía a su disposición.

Por espacio de 4000 años la astronomía se basó en la observación a simple vista. De aquellas atentas observaciones se han extraído las leyes planetarias

generales, válidas aún hoy. Las realizaron los caldeos, los griegos, los árabes, hasta Copérnico y Kepler, el cual, todavía a simple vista, en 1609 descubrió que la órbita de Marte es elíptica y no circular.

Aquel mismo año, en Padua, Galileo Galilei observaba el cielo utilizando por primera vez un catalejo que se había construido en casa.

Se inician así 400 años de astronomía con telescopio. Se denomina astronomía óptica porque estudia el espectro visible, es decir, la misma luz que ven nuestros ojos. En estos cuatro siglos, gracias a telescopios miles de millones de veces más potentes que el de Galileo, hemos descubierto en el cielo muchas más cosas que en los cuatro milenios anteriores.

Finalmente, hace cuarenta años (y ya tenemos completado el número 4440) empezamos a hacer astronomía no solamente desde la Tierra, sino también desde el espacio. Hemos conocido los fotones viajeros, es decir, las partículas de luz que proceden de las profundidades del cielo. Los fotones están distribuidos en las diversas frecuencias que forman el espectro electromagnético, como los colores del arcoíris.

Al llevar los telescopios a satélites, por encima de la atmósfera terrestre, hemos estudiado todos los fotones del espectro electromagnético: los rayos X (los que sirven para hacer las radiografías), los rayos ultravioletas (que garantizan el bronceado), los rayos infrarrojos (que queman), las microondas (para cocinar deprisa los alimentos y mandar mensajes desde el móvil) y sobre todo los rayos gamma (duros y enérgicos, como los emitidos en las explosiones nucleares), que estrellas y galaxias emiten en abundancia.

Entretanto, desde la Tierra hemos desarrollado la radioastronomía: el cielo nos manda informaciones también a través de los fotones de radio, los últimos que componen el espectro electromagnético. Los llamamos más habitualmente ondas de radio, provienen de las estrellas y nos traen la sinfonía del cielo. Escuchando sus notas aprenderemos mucho sobre el universo.

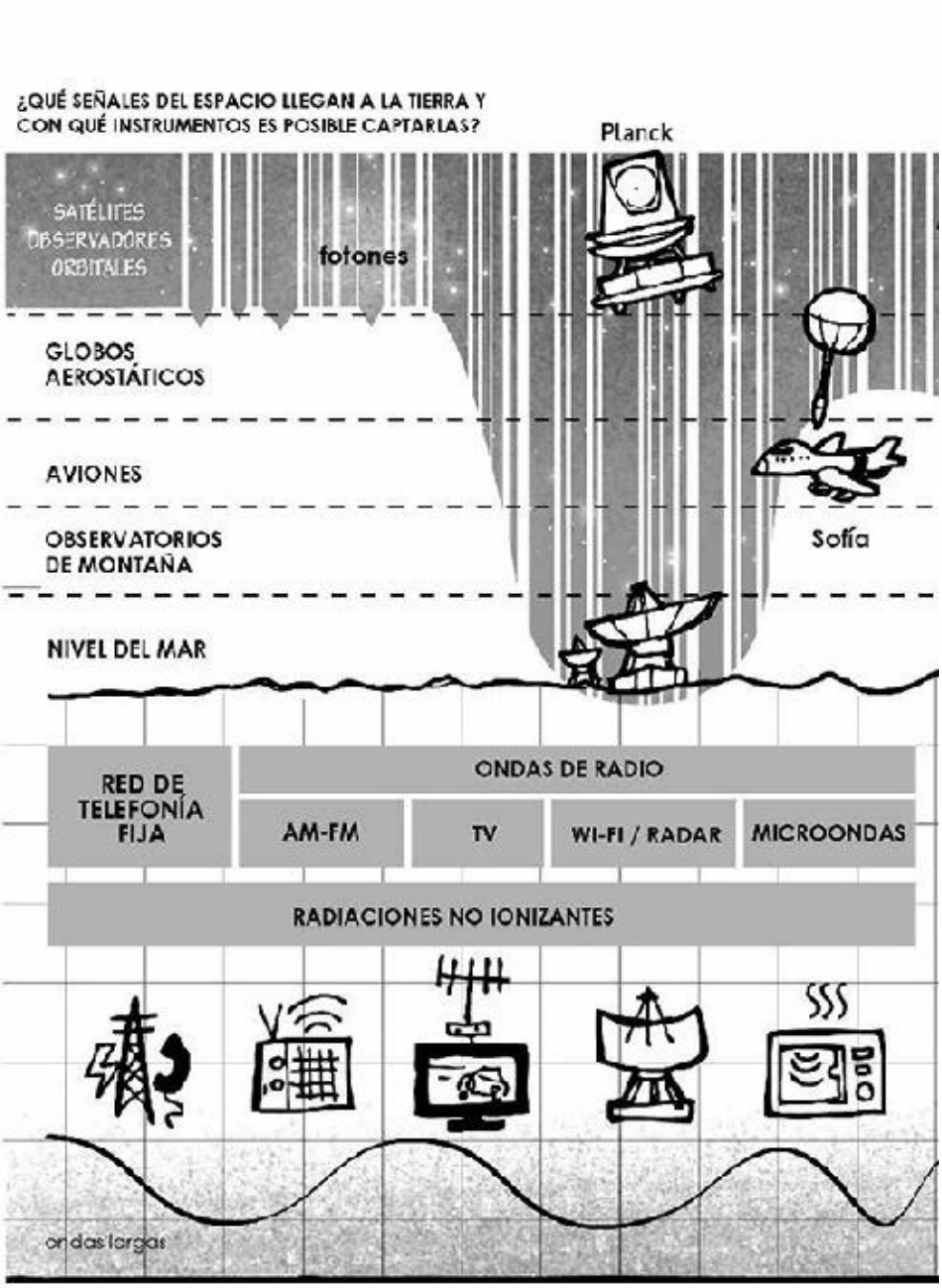
Sabemos que los fotones que vienen de más lejos, y que por tanto son también los más viejos, han nacido de un muro de luz. Cuando el universo era todavía un niño —es decir, tenía más o menos 380 000 años— pero ya había comenzado a expandirse, se volvió transparente a la luz, que antes no conseguía pasar.

Los fotones, en cuanto salieron del universo niño, iniciaron un largo viaje y llegaron hasta nosotros unos 13 670 millones de años después. Llevaban una mochila llena de información sobre su lugar de procedencia, como nos cuenta

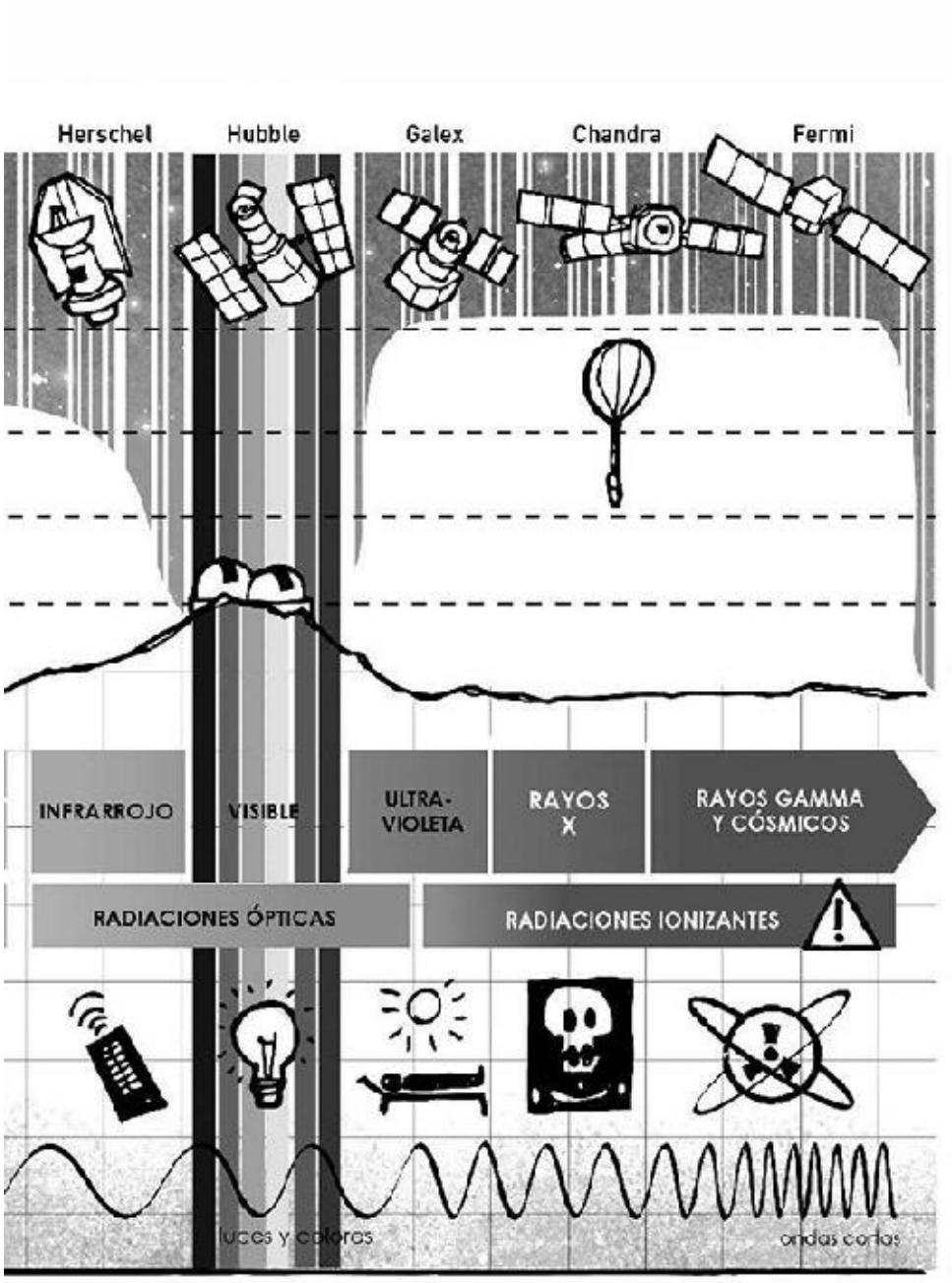
este testimonio inspirado en *Las Cosmicómicas* de Italo Calvino:

> Así, de repente, nací. Me encontré en un lugar muy caluroso y estrecho donde todos empujaban para hacerse sitio. Lo único digno de mención es que la pobre mochila que llevaba al hombro contenía toda las informaciones de mi madre, y me incitaron a salir de casa diciéndome: «… Y se hizo la luz». La verdad es que todos tenían mucha prisa por marcharse; sin embargo, algunos decían que las cosas eran estupendas antes, cuando estaban todos unos encima de otros. Sin darme cuenta, me alejé a la velocidad de la luz. Parecíamos todos impacientes, cada uno corría y yo también, sin saber adónde…

Y así nos llegó la luz de las estrellas, desde las primeras que nacieron en el universo.



EMS – EL ESPECTRO



¿Qué le ocurrió al universo desde el comienzo hasta 380 000 años?

Lo que pasó antes del muro de luz, es decir, antes de que el universo cumpliera los 380 000 años, no lo sabemos. Desde el momento en que los fotones no pudieron salir del universo, porque estaba muy caliente y era densísimo como la crema, no sabemos lo que ocurrió. Sin embargo, no hay que excluir que otros informadores puedan haber salido y contengan datos que nos hagan comprender qué pasó inmediatamente después del *Big Bang*. Nos referimos a las ondas gravitatorias, generadas por masas en movimiento y que nadie ha visto aún, pero que sabemos que existen.

Si antes del regreso del cometa Halley, en 2062, consigues verlas, habrás encontrado otro mensajero del universo aparte de los fotones. Gracias a las ondas gravitatorias quizá sabrás por fin qué le ocurrió de verdad al universo cuando era pequeño.

¿Cuándo nacieron las primeras estrellas?

Todavía no hemos comprendido cómo nacieron las primeras estrellas o cómo se formaron las primeras galaxias. Probablemente, los primeros «grumos» de aquella crema primordial a base de hidrógeno, que era el universo sin estrellas, se formaron después de unos pocos cientos de millones de años. Para ver estas primeras estrellas serán necesarios nuevos y potentísimos telescopios espaciales, actualmente en construcción. Son telescopios de gran diámetro, capaces de ver objetos lejanos y poco luminosos; serán situados en el espacio, lejos de la luz reflejada por laTierra. Cuando logremos observar las estrellas más antiguas, habremos rehecho al revés todo el camino recorrido por las generaciones de fotones viajeros. Observaremos a los primeros que consiguieron partir, nacidos en un universo todavía informe, los emitidos por las estrellas a medida que se formaban y los más cercanos.

Será un descubrimiento trascendente para el ser humano: una conjunción de pasado y presente, porque las primeras estrellas nacieron hace 13 000 millones de años y las últimas están naciendo ahora.

¿Qué tipo de astronomía habrá en el futuro?

Ha llegado el momento de despedirnos de nuestros fotones viajeros, que nos han servido fielmente durante 4440 años pero que ya nos han dicho todo lo que nos podían decir. Para ampliar nuestro conocimiento del universo tenemos que buscar nuevos mensajeros que lleven un equipaje de informaciones más extenso y, en cualquier caso, diverso.

La astronomía utilizada hasta ahora, la electromagnética, es decir, la que se hace usando la luz, nos ha permitido estudiar las estrellas, las nubes interestelares, las galaxias y el gas intergaláctico, pero ya no es suficiente.

El futuro de la astronomía se hará con los neutrinos y las ondas gravitatorias. Serán los nuevos instrumentos que puedan ofrecernos información sobre el cielo y sus misterios.

¿Cómo se conseguirá hacer astronomía con neutrinos?

Ante todo, es útil saber que los neutrinos proceden del Sol, de todas las estrellas, pero también de las grandes explosiones que a menudo marcan la muerte de una estrella.

Tienen una masa muy cercana a 0 y no les gusta reaccionar con la materia, hasta el punto de pasar inadvertidos. Incluso carecen de carga eléctrica. Por estas características, hasta hace algún tiempo eran casi totalmente desconocidos.

Para detener un neutrino haría falta un espesor de materia inmenso, irreal. ¿De qué tamaño? Para detener un neutrino habría que dispararlo en un tubo lleno de plomo y de una longitud de muchos años luz. ¿Sabéis qué longitud tiene un año luz? Es la distancia recorrida en el vacío por un fotón en un año. Los fotones van rapidísimos, a casi 300 000 kilómetros por segundo. Y si pensamos cuántos segundos hay en un año…

Los neutrinos son capaces de atravesar la Tierra. En este momento, si miras al suelo, te pasarán por los ojos los neutrinos que han entrado en el otro

hemisferio, en las antípodas; por ejemplo, si estás en una región europea, los que han entrado en Nueva Zelanda.

El IceCube Neutrino Detector es un detector de neutrinos que se encuentra en el Polo Sur. Se ha construido sumergiendo en el hielo antártico, a una profundidad de un par de kilómetros, cientos de detectores que tienen una geometría esférica, especiales para neutrinos. Son similares a esferas que contienen un detector capaz de ver el relámpago de luz emitido por los neutrinos cuando mueren al interactuar con otras partículas. Los neutrinos, de hecho, no se pueden detectar directamente. Sin embargo, el raro acontecimiento de una colisión entre un neutrino y un átomo de los que componen el hielo ártico produce otras partículas, que a su vez son detectadas por el IceCube. Tras una minuciosa elaboración de los datos obtenidos se reconstruye la vida, muerte y milagros de los neutrinos, desde donde nacen hasta que entran en colisión con un átomo terrestre. Pero es un trabajo dificilísimo, que generalmente requiere pasar un montón de tiempo en una base en la Antártida. Allí se encuentran colegas del mundo entero y se hablan infinidad de lenguas, pero se descubre que todos saben jugar al ajedrez. Es divertido, pero hace mucho, mucho frío.

Lo que es importante saber es que los neutrinos son excelentes informadores: nos dicen con exactitud de dónde proceden, porque son neutros como los fotones, viajan en línea recta y recuerdan de dónde vienen. En fin, si vemos neutrinos que provienen de un punto del cielo, eso quiere decir que su origen está allí. Fue especialmente interesante la explosión, en 1987, de una supernova que marcó el final de la vida de una estrella gigantesca situada en una galaxia cercana a la nuestra y bien conocida por los astrónomos.

Cuando tuvo lugar la explosión, un detector de neutrinos, situado en las profundidades de una mina japonesa, capturó doce de estas escurridizas partículas. Con los neutrinos, la astronomía daría un enorme paso adelante en el conocimiento del universo.

¿Cómo se conseguirá hacer astronomía con las ondas gravitatorias?

Los mensajeros del futuro serán las ondas gravitatorias y su hipotético «gravitón».

Los gravitones (si existen) son los reyes de toda masa. Se desplazan surfeando sobre las ondas gravitatorias, que son el canto de las masas del universo, alimentadas por la energía de los cuerpos celestes de los que proceden. Viajan como las ondas en un estanque cuando tiramos una piedra, pero se propagan a la velocidad de la luz transportando energía. En conclusión, serían los agentes de la fuerza de gravedad, esa fuerza misteriosa que hace que las piedras caigan al suelo, que la Luna siga unida a la Tierra y que miles de millones de estrellas permanezcan juntas formando las galaxias.

Hasta ahora no hemos captado directamente las ondas gravitatorias, sino que hemos observado su existencia solamente de un modo indirecto. El universo es como un bosque; si utilizáramos únicamente la vista sin oír sus sonidos, el gorjeo de los pájaros, los pasos de los ciervos, el murmullo del agua de un arroyo, para nosotros el bosque sería un mundo de árboles deshabitado.

También los cuerpos invisibles, como los enormes agujeros negros que hay en el centro de las galaxias, emiten en su movimiento ondas gravitatorias que atraviesan la materia y llegan hasta nosotros desde cualquier parte del universo donde hayan sido emitidas. Los agujeros negros, recordémoslo, son concentraciones de masa tan densas que ni siquiera la luz logra escapar a su atracción. Por eso son negros, es decir, no se pueden ver. Pero se ven bien sus efectos sobre la materia que los rodea, que si por casualidad está demasiado cerca de ellos, es devorada.

De espiar las ondas gravitatorias, incluyendo las emitidas por los agujeros negros, se ocupará LISA, un proyecto para una «constelación» de tres satélites construidos por la ESA y la NASA. LISA, en órbita alrededor del Sol, detectará el paso de una onda gravitatoria cuando la posición de los tres satélites en el espacio cambie de repente, aunque sea muy poco: querrá decir que acaba de pasar una onda invisible pero capaz de desplazar la masa, ni más ni menos una onda gravitatoria.

Se pueden tratar de detectar no solo en el espacio sino también en su paso por la Tierra. Aquí el problema es que la energía transportada por la onda gravitatoria es pequeñísima y se mezcla con todos los demás ruidos, que son innumerables.

Los laboratorios de la Tierra, por lo tanto, tienen que aislar y eliminar toda vibración, incluso la más pequeña: desde los ruidos procedentes del camión que

pasa por la calle vecina hasta el griterío de los hinchas en el estadio, y hasta los pasos apresurados del compañero en el pasillo.

En el espacio no hay partidos de fútbol, pero los instrumentos son aún más complicados de regir que en el laboratorio.

Aunque sepamos cómo hacerlo, todavía no tenemos antenas suficientemente sensibles. A pesar de todas estas dificultades, podemos hacer una previsión: antes del regreso del cometa Halley, conseguirás detectar las ondas gravitatorias.

Esta conquista os permitirá, por primera vez, ver el periodo neonatal del universo, en el cual convivían las cuatro fuerzas de la naturaleza (electromagnética, nuclear fuerte, nuclear débil y gravitatoria).

¿Cuáles son las fuerzas que dominan la materia conocida?

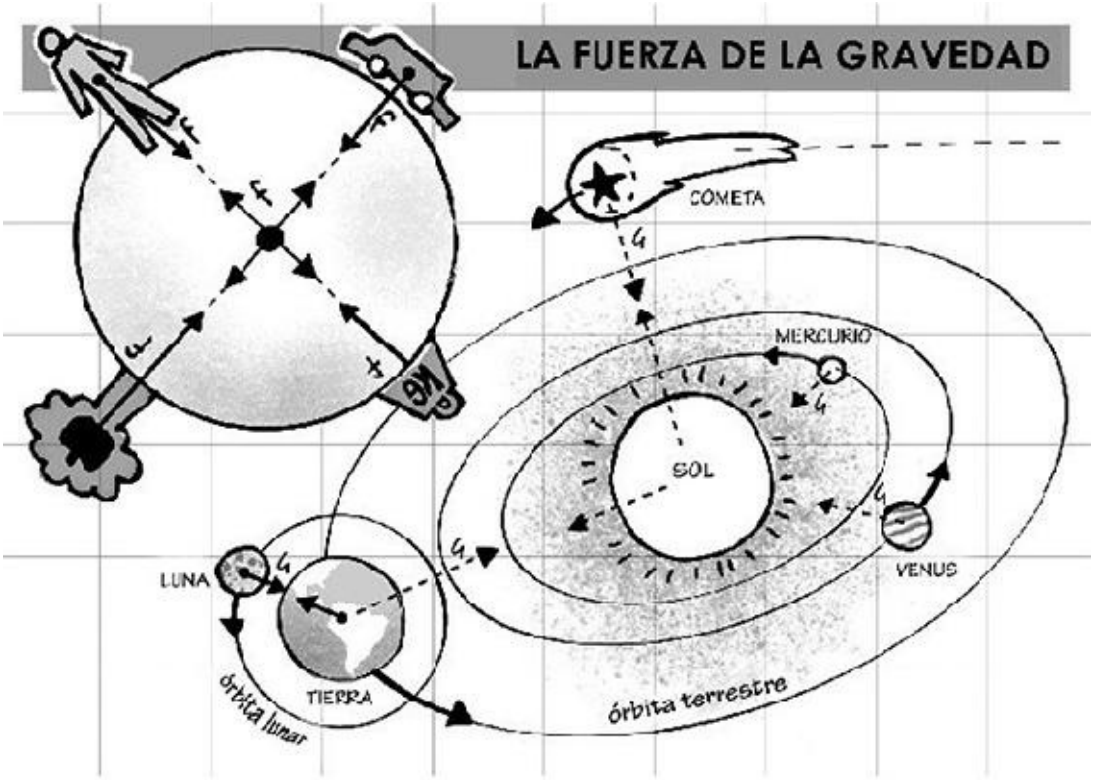
Uno de los resultados más importantes de la física moderna es el Modelo Estándar (ME). Este modelo nos explica, con una sencillez desconcertante, que la materia conocida, que equivale al 4% del universo, está formada por dos tipos de partículas: los quarks y los leptones. Hasta hoy son las más pequeñas que se han descubierto, es decir, los ladrillos elementales de la materia.

Las fuerzas que dominan las interacciones entre todas las partículas son cuatro y son distribuidas por los bosones. Cada fuerza tiene el suyo.

Los bosones son: el fotón, mediador de la fuerza electromagnética; el gluón, término adaptado del inglés que significa «pegón», mediador de la fuerza nuclear fuerte, capaz de mantener unidas las partículas como un pegamento que no se afloja; los bosones W y Z, que transmiten la fuerza nuclear débil, la cual gobierna la radiactividad.

Y la cuarta fuerza, la gravitatoria, ¿dónde la ponemos?

Esta es una pregunta que atormentó también a nuestro querido Einstein y es el agujero más importante de nuestra física. Sin embargo, como acabamos de decir, inmediatamente después del *Big Bang* las cuatro fuerzas estaban todas juntas, con el resto del universo aplastado en 10-35 metros (la longitud de Planck, es decir, tan pequeña que más pequeña es imposible, la cosa más pequeña del universo). Para explicar mejor la longitud de Planck tienes que coger de nuevo un folio y cortarlo por la mitad, y repitiendo la operación 114 veces se llega a la longitud de Planck.



Por qué motivo, a causa de qué, el gravitón, el hipotético agente de la fuerza de la gravedad se disoció de las otras fuerza es una pregunta que tendréis que contestar vosotros, antes de que regrese el cometa Halley.

Lo que os podemos decir es que, una vez nacida, la fuerza gravitatoria domina la materia y la energía en el universo. Y es la que hace que se formen las estrellas y la que mantiene unidas las galaxias, y también la que forma los *magnetars* (estrellas de neutrones superdensas) y los agujeros negros. El gran milagro mental del científico inglés Isaac Newton, hacia finales del siglo XVII, fue entender que la fuerza gravitatoria, que hacía que le cayeran las manzanas en la cabeza, era la misma que mantenía a la Luna girando alrededor de la Tierra y a

nosotros con los pies en el suelo. En aquella época supuso un salto conceptual que pocos comprendieron, hoy es normal para nosotros pensar que el universo está regulado por la fuerza de la gravedad. ¡Gracias, Newton!

Pero, entonces, ¿de qué está hecho el universo?

Es la pregunta más difícil de todas por lo que respecta al futuro.

Todos sabemos que está compuesto de materia que se transforma en energía y viceversa, como demuestra el físico Albert Einstein con la famosa fórmula E = mc2, es decir, la energía es igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado, y por lo tanto la masa y la energía son dos aspectos de lo mismo. Sabemos también que existen tres dimensiones (longitud, anchura y profundidad), más la cuarta (el tiempo), que tratamos como a las otras tres. La astronomía electromagnética nos ha llevado a concluir que la mayor parte del universo sigue siendo invisible para nosotros, aunque percibimos claramente su presencia por sus efectos, como las pisadas en la nieve que nos dicen que alguien ha entrado en el jardín. Y como es invisible y todavía no la hemos comprendido, no sabemos de qué está hecha esta parte tan importante del universo.

La materia que conocemos, aquella de la cual está hecho tu dedo, pero también tu gato, una araña peluda, los planetas y las estrellas, representa solamente, como hemos dicho, el 4% del universo. El resto está hecho de cosas que no conocemos, pero que sabemos que existen: la materia oscura y, sobre todo, la energía oscura. En 2011, el premio Nobel de Física fue otorgado precisamente a tres científicos que han descubierto la aceleración rápida del universo y la presencia de la energía oscura, todavía misteriosa. Inmediatamente después del anuncio, un periodista preguntaba: «¿Cómo? ¿Dan el premio Nobel por haber descubierto una cosa que existe pero no se sabe lo que es?». Exactamente. Entretanto sabemos que el universo está hecho de algo que existe.

¿Qué no es la materia oscura?

La materia oscura actúa sobre el universo dejando sentir su influencia gravitatoria, pero no se ve.

Si miramos bien las galaxias llegamos a una paradoja: no deberían estar unidas, porque la velocidad de las estrellas que la componen es demasiado elevada para que las detenga su propia gravedad. En otras palabras, según la ley de Newton (es decir, la ley de la gravitación universal que describió en los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, publicados en 1687), las galaxias tendrían que desintegrarse poco a poco. Sin embargo no es así: todas las noches las galaxias están ahí para que las admiremos.

La única explicación posible es que en torno a la materia luminosa haya otra materia, invisible y no uniforme, que mantenga en su sitio a las estrellas y permita que las galaxias existan en toda su belleza. Gracias a la ley de Newton hemos conseguido medir la cantidad de materia oscura: ¡se llega a un total de entre cinco y seis veces la materia que conocemos!

La materia oscura no está hecha de estrellas como las demás, de planetas, de piernas humanas o de patas de animales. Es algo que no emite luz, pero que tiene masa. No hay ninguna posibilidad de que la materia oscura esté hecha de la misma materia de la que estamos hechos nosotros, denominada «bariónica», de la palabra griega *barys*, que significa «grave, pesado». Esto lo sabemos porque hemos calculado la materia bariónica producida por el *Big Bang* y la encontramos en su totalidad esparcida por el universo. Desde entonces no se ha creado más. La cosmología moderna nos enseña que el único momento de creación de la materia fue el *Big Bang*. Después no ha hecho más que volver a mezclarse.

¿Cómo podremos estudiar la materia oscura?

La materia oscura podría estar compuesta por un conjunto de partículas que

interactúan a través de fuerzas naturales nuevas: podría existir un universo entero desconocido entretejido con el nuestro y de cuyas propiedades ya se han hecho una idea los físicos teóricos: estas partículas no tienen carga, son estables y tienen masa. Les han dado también un nombre: WIMP, siglas de Weakly Interacting Massive Particle, es decir, partículas con masa que interactúan de modo débil (*wimp* significa «pelele»). A decir verdad, casi todos los físicos teóricos y escuelas de pensamiento han formulado otras hipótesis para explicar la materia oscura. Si son las WIMP las que forman la mayor parte del universo, podría confirmarlo el CERN (el laboratorio internacional de investigación nuclear) con su acelerador de partículas, en el que se hacen chocar protones a energías extremadamente elevadas. Lo que se está tratando de hacer en el CERN es crear de la nada un trocito del universo conocido para poder estudiarlo con comodidad en un laboratorio y no depender de las estrellas. No será fácil. Las partículas que buscamos son rarísimas y es muy difícil crearlas partiendo de otras partículas más un poco de energía, y ellas también viven una millonésima de segundo…, en fin, un tiempo brevísimo.

Lo más fascinante es partir de lo infinitamente pequeño (una partícula) para comprender lo infinitamente grande (el universo). Si quisiéramos estudiar un hormiguero tendríamos que empezar por cada una de las hormigas; entender sus características, su organización social y las diversas tareas que están encomendadas a la reina, a los machos y a las obreras. Tal vez sea este el camino para comprender mejor el universo. Pero, una vez entendida la materia oscura, desde luego no habremos terminado.

¿Qué sabemos de la energía oscura?

Hemos descubierto que la materia oscura está a su vez en minoría en la composición del universo.

Mediciones precisas realizadas en las estrellas que explotan, las denominadas supernovas, en los confines del cosmos accesible, nos indican que el universo está acelerando su expansión. Es como si hubiera una fuerza externa que tirase de él o una interna que lo empujase, una especie de repulsión entre galaxias. De ser así, se trata de una fuerza que actúa con una intensidad enorme en

comparación con la gravedad que atrae a las masas.

La energía oscura muestra una difusión uniforme, como si estuviera entretejida en la estructura misma del espacio. Por lo tanto es homogénea y no muy densa, pero llena todos los espacios vacíos.

Algunos físicos teóricos sostienen que la fuerza de la energía oscura podría crecer hasta dominar las demás fuerzas del universo. En esta eventualidad, la energía oscura destruiría todas las estructuras ligadas por la gravedad y los propios átomos. Otros científicos, por el contrario, piensan que la energía oscura podría desaparecer con el tiempo.

Aunque estas ideas no se pueden demostrar, tampoco se pueden descartar.

Seréis tú y la nueva generación de científicos los que hagáis la astronomía del futuro. Servirán los nuevos mensajeros (como los neutrinos y los gravitones), bastará con aprender a utilizarlos correctamente.

¿Es este el futuro de la astronomía?

Hasta dónde se podrá continuar con estas investigaciones, contando con los instrumentos necesarios, dependerá de cuánto dinero de nuestros bolsillos puedan y quieran gastar los gobiernos para estudiar el universo. Si te estás preguntando por qué es importante la investigación, haz la prueba de mirar una noche a las estrellas: no podrás dejar de tener la sensación de que eres minúsculo pero posees la facultad de pensar. Tratar de comprender el misterio del universo es lo que distingue al hombre del animal.

Estamos próximos a un *Big Bang* tecnológico, en la Tierra y en el espacio. Pocos años después de leer este libro, alguno de vosotros podrá oír el alarido gravitatorio de una estrella que cae en un agujero negro, el lamento de dos estrellas de neutrones que chocan, la crepitación infernal de un relámpago de rayos gamma y, quizá, una voz lejana procedente de otros universos.

El futuro de la astronomía, de aquí al 2062, irá más allá de la astronomía electromagnética que el hombre cultiva desde hace más de cuatro milenios. Se tratará de ir más allá de la estación de la que partió el fotón viajero. Es decir, entrar en los primeros 380 000 años de existencia del universo, cuando los fotones no podían salir. Lo haremos ya sea utilizando las ondas gravitatorias, ya

los neutrinos, y llegaremos cerca del primer viaje de nuestro universo, cuando acababa de nacer.

TODA LA ENERGÍA QUE QUERAMOS

¿Cómo se podrá producir toda la energía necesaria sin destruir la Tierra?

Como habrás oído decir con frecuencia, en nuestro planeta tenemos un gran problema de energía. Sin embargo, la Tierra tiene temperaturas que permiten que el agua permanezca líquida y una atmósfera en la que podemos respirar. Imagínate si estuviéramos en Venus (400 grados y una presión de 100 kilos por cm2 de cuerpo: seríamos aplastados como obleas) o en Marte (40 grados bajo cero, como en Groenlandia en invierno, una centésima parte de atmósfera, es decir, diez veces menos aire que en la cima del Everest, y nada de oxígeno).

Yuri Gagarin, el primer hombre en el espacio, dijo: «Dando vueltas alrededor de la Tierra en la nave he visto lo bello que es nuestro planeta. El mundo debería permitirnos conservar y aumentar esta belleza, no destruirla».

Nuestra atmósfera es un bien muy valioso. Somos afortunados, pero no lo entendemos: al continuar produciendo energía de la manera equivocada estamos arruinando este bello planeta. Nos creemos evolucionados, pero en realidad no estamos mucho más adelantados que el hombre de Neanderthal, que hizo el importante descubrimiento de que los filetes de mamut estaban más ricos asados que crudos. De hecho, desde siempre hemos producido energía «quemando» combustibles fósiles. «Quemar» quiere decir combinar el carbono (de la madera o del carbón) con el oxígeno de la atmósfera, el oxígeno que es de todos y cuyo valor es inestimable. En Italia hay casi cien centrales térmicas en las cuales se produce energía eléctrica quemando combustibles fósiles. Aunque son muchas

para la calidad del aire, no es un récord. En lo alto de la clasificación encontramos a China, con la construcción de una central de carbón a la semana. Sin embargo, todos somos un poco culpables, no solo los chinos: la energía (y la correspondiente contaminación) producida en China no sirve únicamente a los chinos, sino también para fabricar las zapatillas deportivas que luego usamos en Occidente.

Pero las cosas son todavía peores: combinado con el carbono, el oxígeno es enviado de nuevo a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO_2), un gas sofocante y que hace aumentar el efecto invernadero. El dióxido de carbono no es generado solo por las centrales térmicas sino también por la combustión de gasolina y gasóleo de los automóviles, por las bacterias durante el proceso de fermentación y por nuestros pulmones al espirar. Por desgracia, el carbono está muchísimo tiempo con la «cabeza» en las nubes. Los demás tipos de polvo, antes o después, vuelven abajo, pero él es demasiado ligero para descender a la Tierra hasta que pasan cien años. Por lo tanto, aunque no fuera más que para estabilizar la cantidad actual de carbono presente en la atmósfera, es decir, para que no aumentara, habría que dejar de descargarlo en el aire.

Somos nosotros los artífices de todo esto: consumimos oxígeno sin pensar en el esfuerzo de las plantas que lo producen y contaminamos lanzando a la atmósfera elementos acostumbrados a estar bajo tierra. Para evitarlo tenemos que encontrar otros medios de producir energía.

¿Existe alguna manera de capturar el dióxido de carbono de la atmósfera?

Sí, existe, aunque no es fácil. Se trata de recoger el dióxido de carbono con métodos químicos, comprimirlo o volverlo líquido, y almacenarlo en lugares seguros, aprovechando cavidades en el subsuelo, por ejemplo yacimientos de petróleo y de gas ya agotados. Haciéndolo de este modo, podemos esperar que no se vaya de allí, considerando que el dióxido de carbono tiende a depositarse en los poros de la roca. Si allá abajo se encontrase con agua, se limitaría a volverla gaseosa (como la que bebemos si nos gustan las «burbujitas»), pero si

una gran burbuja de dióxido de carbono escapase a la superficie causaría un gran problema: podría matar por sofocación a un gran número de personas. Ya ha sucedido durante las erupciones volcánicas.

El proyecto de almacenamiento, aprobado a nivel europeo, se llama Carbon Capture and Sequestration. El problema es que para llevarlo a cabo se requiere mucha energía. Piensa que para recoger de manera eficiente todo el dióxido de carbono emitido a la atmósfera, desde la revolución industrial hasta hoy, necesitaríamos tres teravatios, es decir, tres mil gigavatios de potencia durante quién sabe cuánto tiempo con el fin de producir la energía precisa. En otras palabras, hacen falta tres mil centrales nucleares. Así que es el pez que se muerde la cola: almacenamiento = + energía, + energía = + centrales, + centrales = + contaminación.

En resumidas cuentas, chicos: es absolutamente necesario inventar algo que nos proporcione toda la energía que queramos pero que sea limpia, infinita y gratuita.

¿Nos puede ayudar el Sol?

El Sol brilla para todos, dice el proverbio, y efectivamente transmite su calor a todos, también a los hongos para que se sequen y a las naves enemigas que ardieron gracias a Arquímedes y su espejo ustorio, es decir, cóncavo y capaz de desviar los rayos del Sol sobre el enemigo.

Hoy en día, con los paneles solares fotovoltaicos que, al ser alcanzados por el Sol, transforman la luz en electricidad, hemos dado un importante paso adelante desde los tiempos de Arquímedes, pero todavía estamos lejos de resolver el problema.

Actualmente, los paneles son de silicio, un material muy costoso, pero para el futuro se prevé la utilización de nanomateriales (estructuras moleculares de reciente invención), trabajados de una manera especial para que tengan las mismas propiedades. Por ejemplo, el proyecto PhotoSi de Paola Ceroni, profesora de la Universidad de Bolonia, consiste en combinar los nanocristales del silicio con microestructuras ramificadas para obtener un material de bajo coste. Se trata de un material innovador para ser usado en las células

fotovoltaicas, que tendrá mejores propiedades eléctricas (para permitir el transporte de energía) y ópticas (para la absorción y la recogida de la luz).

En este punto necesitamos una extensa zona «batida» por el Sol pero no por el ser humano. ¿Hay algo mejor que el desierto? Podríamos construir en el Sahara un pavimento formado por fotocélulas *sun-catcher* (atrapadoras de sol). Lo va a intentar un consorcio de veinte grandes empresas alemanas que se está organizando para construir en el Sahara, en el plazo de quince o veinte años, una megainstalación capaz de generar 100 gigavatios de energía. Se convertiría en la instalación más grande del mundo y suministraría energía incluso a Europa. Pero en el desierto también se hace de noche, y el Sol, que es amable con todos, el Sol, que brilla para todos, se va a iluminar a los que están en el otro lado de la Tierra. Y sin la luz del Sol el fotovoltaico está inactivo. ¡Sin luz no hay energía! A algunos les asaltan otras dudas: los paneles solares no resistirán mucho tiempo en el Sahara, donde los vientos del desierto los rayarán, haciéndolos ineficaces.

Por desgracia, sin embargo, una instalación que ocupara todo el Sahara, además de desfigurarlo, no bastaría ni siquiera para cubrir las necesidades de nuestro continente. Sin contar con que la energía eléctrica tendría que ser transportada luego hasta el centro de Europa, con lo que habría que calcular la pérdida de una buena cantidad. Es mejor producir energía lo más cerca posible de donde se va a utilizar.

¿Es posible producir energía limpia, infinita y gratuita?

Hay un sistema más sencillo y más cercano que el desierto del Sahara, y se encuentra debajo de nuestros pies. Nuestro bellísimo planeta nació (hace unos 4500 millones de años), en lo esencial, de la misma bola de fuego de la que nació el Sol.

En su interior, la Tierra está aún muy caliente. Cuando hay erupciones volcánicas vemos que la lava es una especie de mermelada de roca, que se vuelve líquida por la altísima temperatura (miles de grados) del subsuelo. Y cerca del centro de la Tierra, la temperatura se mantiene todavía más alta por la

presencia de elementos radiactivos: el uranio (del que habrás oído hablar por las bombas y los reactores nucleares) y, menos famoso pero muy similar, el torio.

Los elementos radiactivos están compuestos por átomos complejos y por lo tanto son muy pesados, más que el calcio o el silicio, importantes componentes de las rocas. Y como son pesados, se van «al fondo» y se acumulan en las zonas centrales del esferoide (un cuerpo parecido a una esfera) terrestre.

El oro: ¿en el centro de la Tierra o en la superficie?

El oro es también un elemento muy pesado, ya lo sabes: un litro de oro pesa casi veinte kilos. Así pues, cerca del centro de la Tierra tiene que haber mucho y no se entiende bien cómo es que en la superficie se encuentra también un poco (suficiente para las joyas de todas las señoras del mundo). La explicación es que el oro que encontramos en la superficie es de procedencia extraterrestre, traído de «contrabando» por los meteoritos.

Los pedruscos celestes que caen a decenas de miles sobre la Tierra llevan asimismo un poco de oro y nos lo regalan.

¿Cómo es el centro de la Tierra?

Ya hemos dicho que el centro de la Tierra está muy caliente por dos motivos: porque se acuerda del origen del planeta en la caldeadísima nebulosa planetaria y por la emisión radiactiva de los elementos presentes en el núcleo. El núcleo fundido tiene un radio de 2000-3000 kilómetros. De ese centro a la superficie hay unos 6300 kilómetros de roca: ese es el radio de la Tierra.

Estos miles de kilómetros de roca, que forman un «manto» alrededor del núcleo, sirven para impedir que se enfríe; esta zona se calienta también un poco, pero el calor que llega a la superficie no es homogéneo, como demuestran los volcanes o las aguas termales. En Islandia, más del 85% de la energía que se usa

para calefacción es de origen geotérmico.

¿Y bien? Lo has comprendido: el secreto para obtener energía limpia, gratuita e infinita es precisamente ir a apresar el calor interno de la Tierra. Puede proporcionar una energía eléctrica que no requiere combustión, no consume el oxígeno de la atmósfera ni emite al aire compuestos nocivos como el dióxido de carbono, y además no depende del paso día/noche (a diferencia de la energía solar), es constante en el tiempo (a diferencia de la eólica, vinculada a la presencia de viento) y no genera residuos (a diferencia de la nuclear).

¿Cómo se puede extraer el calor del manto rocoso de la Tierra?

Es fácil, incluso divertido. El profesor Lidenbrock y su sobrino Axel, de la novela *Viaje al centro de la Tierra*, de Julio Verne, podrían ayudarnos leyéndonos el pergamino que los incita a emprender su arriesgado viaje:

> Desciende al cráter del *Yocul* [volcán] del Sneffels, que la sombra del Scartaris acaricia, antes de las calendas de julio, audaz viajero, y llegarás al centro de la Tierra, como yo hice. Arne Saknussemm.

Pero tú no tendrás que bajar al volcán Sneffels, sino cavar un profundo agujero bajo tus pies.

Pasemos al ejercicio práctico.

Hazte con una buena barrena que tenga una parte cóncava por dentro para hacer subir el material de excavación, y una punta bien lubricada y resistente a las altas temperaturas. Para alcanzar el estrato superior del manto tendrás que soportar 300 grados.

Con el aumento de profundidad notarás que la temperatura dentro del agujero asciende. Para que te hagas una idea, entre los 5 y los 6 kilómetros de profundidad, según el lugar donde estés excavando, se alcanza la temperatura de ebullición del agua, 100 grados.

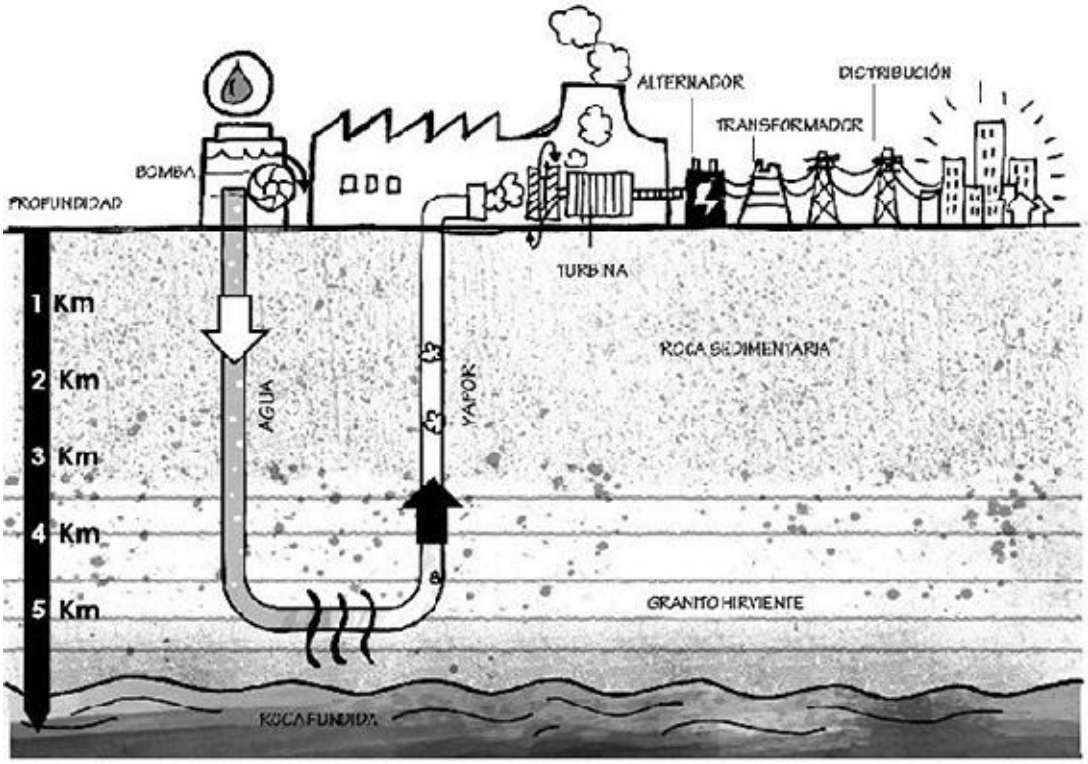
En ese punto cava otro agujero paralelo al primero.

A continuación, pon en comunicación los dos agujeros por medio de una galería subterránea, más o menos horizontal, y ya tienes hecha una central geotérmica profunda.

Lo que va a pasar lo descubrirás tú solo: si viertes agua en el primer agujero y luego la haces pasar por el trecho horizontal, se calentará hasta convertirse en vapor que, hallando su salida natural por el otro agujero, subirá a la superficie.

¿Has visto alguna vez los géiseres que surgen de la Tierra, los de Islandia o los del parque de Yellowstone en Estados Unidos?, ¿o simplemente las más pequeñas solfataras de Pozzuoli o las bocanadas de vapor blanco de Larderello?

Así pues, con tu sistema compuesto por dos agujeros verticales unidos por uno horizontal, has construido un géiser artificial: enviando agua hacia abajo, llega vapor arriba, obtenido del calor de la Tierra. Este método, sin embargo, no se ha usado todavía, sobre todo por intereses económicos; los magnates del petróleo y los países ricos en este recurso no quieren pasar a otras forma de energía.



¿Cómo se podrá utilizar el vapor?

También es sencillo transformar un chorro de vapor en energía eléctrica: se puede utilizar para hacer girar una turbina, es decir, una rueda con palas (parecida a la de un molino) que, impulsada por el vapor, se pone en movimiento y luego transforma el movimiento en energía eléctrica.

O bien se puede decidir, como hacen en Islandia, usar el vapor natural de los volcanes para calentarse en invierno, llevándolo a las casas a través de tubos subterráneos y evitando contaminar las ciudades.

¿Qué capacidades tiene el sistema geotérmico?

Esta geotermia avanzada, que en Estados Unidos denominan Enhanced Geothermal System (EGS), es realizable sin apenas coste de materias primas y sin contaminación.

Una instalación de 100 megavatios, equivalente a una central térmica de dimensiones medias, es decir, capaz de servir a una ciudad de 100 000 habitantes, necesita una superficie de 2 km2, que abarcaría los dos pozos y la instalación de generación de corriente con las turbinas de vapor.

Entre los problemas que hay que resolver están estudiar los lugares donde barrenar, aprender a hacer agujeros un poco más profundos que los que hoy sabemos hacer para la extracción de petróleo (5-10 km), prevenir los microseísmos que pudiera provocar el vertido de agua en el túnel y verificar la presencia de eventuales pliegues acuíferos.

¿Cuáles son las otras ventajas de la geotermia?

Otra de las ventajas de la geotermia podría ser la paz. Se acabarían las guerras causadas por controlar las zonas petrolíferas, conflictos generados por la continua demanda de combustibles fósiles en el planeta.

En Estados Unidos se ha hecho un cálculo aproximado de la energía que se podría extraer de la Tierra. El resultado es increíble: se habla de 13 millones de exajulios (la unidad de medida utilizada internacionalmente desde 1960). Por hacer una comparación, que sepas que los exajulios de energía solar que llegan a la Tierra en un día son 15 000.

Es evidente que con la geotermia se conseguiría satisfacer esta demanda, y además digerir el dióxido de carbono producido en los dos siglos transcurridos entre la revolución industrial y el presente.

Si queréis dar un giro, dentro de cincuenta años habréis eliminado para siempre las centrales térmicas terrestres, alimentadas con carbón, gasóleo y gas natural, y que hoy son responsables de dos millones de muertes al año por contaminación, a causa, por ejemplo, del aumento del asma bronquial.

LA VIDA: EN EL CIELO, EN LA TIERRA Y EN TODAS PARTES

¿Qué es la vida?

Si un alienígena preguntara a un terrestre cómo se diferencia lo que tiene vida de lo que no la tiene, el terrestre no tendría ninguna dificultad para redactar dos listas. Seres vivos: moscas, árboles, niños, hongos, corales… Seres no vivos: radios, coches, robots, ordenadores, cristales…

El alienígena trataría de entender qué es lo que distingue a los unos de los otros.

¿El movimiento?

Desde luego que no. El árbol y el hongo, por ejemplo, no se mueven, mientras que el coche y el robot, sí.

¿La capacidad de crecer?

El coral no crece mucho; sin embargo, una de las propiedades más estudiadas de los cristales es precisamente el crecimiento.

¿La capacidad de reaccionar a los estímulos?

De nuevo el árbol y el hongo no tienen reacciones visibles si reciben un estímulo, mientras que el ordenador y la radio muestran variadas modalidades de interacción con el medio exterior.

En este punto el alienígena se pondría pesado. Querría una explicación científica e irrefutable.

El terrestre lo intentaría.

La diferencia está en la capacidad de regenerar desde su interior aquello de

lo que están hechos, es decir, de formarse y reproducirse. Resumiendo: en el metabolismo, en la autonomía, en la evolución…

Pero luego se daría cuenta de que nada de lo que ha dicho es suficiente para explicar las características de los seres vivos.

«¡La vida es un misterio!», exclamaría entonces, antes de que el alienígena decidiera volver por donde había venido.

Y tendría razón: nadie sabe dar una definición precisa y universal de la «vida». En los apartados siguientes, sin embargo, te contaremos lo que se ha descubierto hasta ahora.

¿Existe un vínculo entre el universo y el hombre?

Hay un hilo rojo que une el universo con la vida. Hemos tratado de seguirlo, pero parece estar interrumpido al menos en dos puntos. O mejor dicho, el hilo está siempre ahí, solo que se nos escapa de las manos.

La primera interrupción es, como ya hemos dicho, el momento inicial, encerrado en un intervalo de tiempo brevísimo (10-43 segundos) llamado tiempo de Planck, en el que nace el universo (y de ahí la física). De este «momento crucial», por desgracia, no sabemos nada.

De inmediato, sin embargo, entra en acción la nucleosíntesis, el proceso en el que se crean los elementos más ligeros. Se forman el helio y el litio, utilizando el más ligero de todos, el hidrógeno generado por el *Big Bang*. Poco tiempo después —¡unos cientos de millones de años!— se encienden las primeras estrellas.

En las estrellas tiene lugar otra nucleosíntesis, aquella en la cual se construyen, partiendo de los elementos más ligeros, los elementos un poco más pesados que conocemos, como el calcio, el hierro o el carbono, del cual estamos hechos nosotros. Después, las estrellas empiezan a generar granos interestelares, es decir, granos de materia del tamaño de la milésima parte de una cabeza de alfiler, que vuelan entre las estrellas. A partir de los granos, que se pegan unos a otros como los grumos del puré, se forman los planetas. El material que se

encuentra alrededor de las estrellas, denominado material circumestelar, es indispensable para la formación de las moléculas orgánicas que están en el cielo y llegan a nuestro planeta a bordo también de los meteoritos. La cantidad de materia que estos objetos llevan a la Tierra asciende a unas 40 000 toneladas al año. Los meteoritos son perfectos transportadores de materia prima para la vida: se montan en ellos no solo grandes moléculas cósmicas, sino también azúcares y aminoácidos.

Desafortunadamente, en este punto se pierde de nuevo el hilo rojo. Llegamos sin dificultad a demostrar que en el cielo se forman materiales orgánicos entre los que se encuentran los «ladrillos de la vida», y que esos materiales llueven en abundancia sobre la Tierra acarreados por los meteoritos y los cometas. Pero aquí nos paramos, es decir, no sabemos cómo construir una casa con esos cargamentos de ladrillos, cómo crear la vida a partir de las moléculas orgánicas, ni siquiera de las más complejas.

Por lo tanto, el universo produce los ladrillos de los que está hecho el ser humano. Mantén el hilo bien estirado, no dejes que se te escape de las manos y trata de descubrir cómo echarle otra vez un nudo allí donde ahora parece que se ha interrumpido.

¿Cuáles son los ladrillos de la vida?

Todos juntos, los denominados ladrillos, esto es, los elementos más importantes para la vida, tienen un nombre casi impronunciable: CHNOPS. Te los presentaremos, pero estamos seguros de que, tomados de uno en uno, ya los conoces:

- carbono C;
- hidrógeno H;
- nitrógeno N;
- oxígeno O;
- fósforo P;
- azufre S.

Todos son necesarios, pero el mejor es el carbono. Para hacer moléculas complejas, lo ideal es formar una especie de armazón de átomos polivalentes, es decir, capaces de formar enlaces múltiples y estables entre ellos y con otros átomos. En esto el carbono es imbatible.

Con la radioastronomía hemos descubierto hasta ahora más de 110 moléculas basadas en el carbono, entre ellas sustancias orgánicas bastante extrañas a base de cianuro, como el HC10CN. Las moléculas más grandes son las del fulereno, una esfera con tantas caras como un balón de fútbol, que adoptan también una forma ovoide o de tubo largo y delgado. Una verdadera obra maestra del universo.

Ningún átomo es tan hábil como el del carbono a la hora de construir estructuras complejas: el segundo es el silicio, que sin embargo forma solamente la décima parte. Los átomos de carbono, de hecho, tienen enlaces entre ellos que hacen posible la construcción de cadenas largas y complejas; las del silicio, por el contrario, se rompen enseguida.

¿Qué es la panspermia?

Es una antigua teoría, nacida en la Grecia clásica. Parece ser que, en el siglo V a. de C., el filósofo Anaxágoras fue el primero en plantear la hipótesis de que las semillas de la vida habrían sido distribuidas por todos los rincones del cosmos, desde donde, viajando a través de los más fantásticos medios (a caballo de cometas, a la grupa de meteoritos, transportadas por el viento solar de las estrellas), después habrían caído también en nuestro planeta. En resumen: el nacimiento de la vida habría acontecido fuera de la Tierra.

Si en nuestro sistema planetario alrededor del Sol, que es una estrella corriente (sin ánimo de ofender, que todos le tenemos cariño), imposible de distinguir de otras 100 000 millones de estrellas de la Vía Láctea, hay un material orgánico tan avanzado, ello quiere decir que las bases químicas de la vida son seguramente habituales en el universo y frecuentes entre las estrellas.

Con todos estos ladrillos que revolotean sobre nuestras cabezas y que nos llueven encima, la panspermia puede tener sentido. Hoy en día no estamos en condiciones de demostrar que la panspermia sea verídica, pero tampoco de

probar que sea imposible. Ni lo estaremos en el futuro, a menos que encontremos un meteorito que transporte algo vivo que no sea contaminación terrestre.

Se puede demostrar, y lo hemos hecho, que una bacteria u otro organismo elemental, con un poco de suerte, se las arregla para sobrevivir, por ejemplo, a un viaje Marte-Tierra. Podría hallarse cómoda dentro de una rendija de una roca marciana disparada hacia la Tierra desde el planeta rojo tras una colisión con un asteroide. Desde luego, si hubiéramos descubierto vida en Marte todo sería diferente.

Si encontrásemos vida en alguna parte del Sistema Solar, cosa bastante probable antes del regreso del cometa Halley, tendríamos que asegurarnos de que se trata de vida extraterrestre y no de una bacteria terrestre transportada con el mismo mecanismo que hemos descrito para Marte.

Sea como fuere, la panspermia, aun cuando se demostrara experimentalmente en nuestro sistema, no resuelve el problema del origen de la vida, sino que lo traslada, llevándolo a lugares lejanos donde la indagación es todavía más difícil.

Tal vez el verdadero descubrimiento sería encontrar una forma de vida diferente de la única que conocemos, es decir, la nuestra.

¿Existen formas de vida diferentes de las que conocemos?

Si descubriéramos una vida distinta de la que todos conocemos, basada en los CHNOPS, habríamos demostrado que la vida puede nacer de maneras inesperadas, quizá incluso en nuestro mismo planeta. Los extraterrestres podrían estar entre nosotros y podríamos tenerlos ya delante de las narices, o hasta en las narices…

Tratar de definir la vida es un poco como tratar de definir el arte. La vida, como el arte, puede adoptar las formas más variadas y expresarse de infinitas maneras, pero cuando existe se ve. Y cuando no, también.

La vida tiene que ser capaz de reproducirse, y de hacerlo con un grado de

«fidelidad» a los progenitores que no sea excesivo, pues de lo contrario adiós a la evolución, pero tampoco reducido, entonces la especie se pierde en un conjunto de excepciones.

Un modo seguro de estudiar la que denominaremos vida 2.0, aunque no sea muy original, consiste en buscar una variante del famoso grupo CHNOPS. La vía más sencilla es sustituir uno de los elementos por un vecino suyo de la tabla periódica que tenga propiedades similares. Por ejemplo, imaginemos que sustituimos el carbono por el silicio. Aunque es similar, el silicio es poco soluble en agua —la arena no se disuelve en el mar—, y la vida sin agua nos parece muy poco probable. Además, el silicio no sabe construir estructuras moleculares sólidas y diversificadas como hace el carbono. En fin, resulta difícil mejorar al carbono.

Otra teoría que se puede explorar sería la de sustituir el fósforo (P) por el arsénico, vecino suyo y muy similar.

En California se ha sondeado un lago con una alta concentración de arsénico. En los fangos del lago Mono del Parque Nacional de Yosemite se han encontrado bacterias que, habitualmente, en lagos normales, utilizan el fósforo del ambiente. La esperanza era hallar bacterias capaces de vivir en un ambiente en el cual el arsénico sustituyera completamente al fósforo. Por el contrario, las pobres bacterias, obligadas a ingerir arsénico, lo absorben sin ponerlo en circulación, consiguiendo vivir con el poquísimo fósforo que se encuentran.

En conclusión, por lo menos hasta ahora, no se ha hallado vida en el arsénico, una vida que, al fin y al cabo, sería verdaderamente extraterrestre.

Por ahora los CHNOPS dan la impresión de ser insuperables, pero en el futuro quién sabe, puede que encontremos otros elementos idóneos para construir la vida.

¿Encontraremos vida en los meteoritos y en los cometas?

Para buscar vida en los meteoritos y en los cometas debemos empezar a trabajar con los fragmentos de universo que nos llueven encima. Los meteoritos y los

cometas tienen un interesante componente orgánico: los aminoácidos de los que estamos hechos.

En los 500 millones de años, o poco más, transcurridos desde que se formó la Tierra hasta que nació la vida, hace unos 4000 millones de años, cayeron sobre la superficie de nuestro planeta cada año un millón de toneladas de compuestos carbonosos y moléculas orgánicas muy complejas, que se sumaron a las que ya estaban allí. Y un buen día, en cuanto lo permitieron las condiciones físicas del ambiente, apareció la vida.

Por el análisis del meteorito caído en 1969 en las proximidades de la pequeña ciudad de Murchison, en Australia, sabemos que entre las moléculas orgánicas complejas halladas en sus fragmentos estaban los azúcares y los aminoácidos de los que estamos hechos nosotros.

¡Sabemos, por tanto, que estas moléculas complejas se formaron por sí solas, en una diversidad de ambientes cósmicos mucho más complejos que la Tierra!

El análisis de lo que llega a bordo de los «taxis astrales» continúa ofreciéndonos la confirmación de que el material orgánico de origen extraterrestre fue importante para el nacimiento y desarrollo de la vida en la Tierra, pero no nos desvela otros secretos.

Cada año caen sobre nuestro planeta 40 000 toneladas de meteoritos. Proceden del espacio y van a parar a cualquier sitio; una gran parte de ellos caen en el mar y se pierden, pero por lo que se refiere a los caídos en tierra, nuestras técnicas de recogida y análisis están mejorando.

¿Hay vida en los planetas extrasolares?

Como hemos visto, hace menos de veinte años que se han empezado a descubrir planetas alrededor de las estrellas cercanas a nosotros: el primero fue descubierto por dos astrónomos europeos en 1995.

Nos gustaría encontrar una nueva Tierra, es decir, un planeta tan bello como el nuestro, con una masa similar, atmósfera, agua en estado líquido y campo magnético. En un planeta así tendría sentido buscar huellas indirectas de vida, por ejemplo analizando el espectro de la atmósfera: si detectásemos la presencia de oxígeno, tendríamos una prueba de la existencia de vida.

Aquí no hay que escarbar, como en las arenas de Marte, sino que se va de pesca al espacio. Habrá que esperar, pero más tarde o más temprano notaremos un tirón en el sedal y habremos pescado un planeta para estudiar, gracias a los potentísimos telescopios espaciales que para entonces estarán listos.

De nuevo, nuestro plazo es 2062.

¿Podemos enviar mensajes a «alguien» que esté allá fuera?

Antes tenemos que aprender a escuchar, en la hipótesis de que en algún lugar de la galaxia haya «alguien» capaz de comunicar a distancia que tenga algo que decir y quiera decirlo.

En realidad seguimos intentando ambas cosas: escuchar y también enviar «SMS espaciales», señales tecleadas en clave que pueden ser enviadas por diversos tipos de telescopios. Quién sabe si un día llegará la respuesta…

Se han transmitido numerosos mensajes a través de las sondas *Pioneer 10* y *11* y *Voyager 1* y *2*, lanzadas hace ya más de cuarenta años. Actualmente están saliendo de la zona de influencia del Sol y han entrado en el medio interestelar, el gas ligero que llena el espacio entre las estrellas. Hemos puesto en las sondas *Pioneer* una placa de aluminio con unos grabados: el esquema de una propiedad fundamental del átomo de hidrógeno (la denominada transición hiperfina), un esquema del Sistema Solar con la trayectoria de la sonda, la posición astronómica del Sol, un boceto de un hombre y una mujer junto a la astronave (para dar una idea de las proporciones humanas) y un código binario.

En las sondas *Voyager* hay algo aún más elaborado: además de los esquemas de la posición del Sol y el átomo de hidrógeno, cada una transporta un disco fonográfico de oro (en 1977 no existían todavía los CDs), acompañado de instrucciones de uso, en el cual hay sonidos terrestres y humanos, desde el rumor del viento hasta la *Quinta sinfonía* de Beethoven, pasando por el llanto de un niño.

La esperanza es que, un día, alguien encuentre el disco y se haga una idea de cómo es la vida en la Tierra, e intrigado por tanta belleza se ponga en contacto

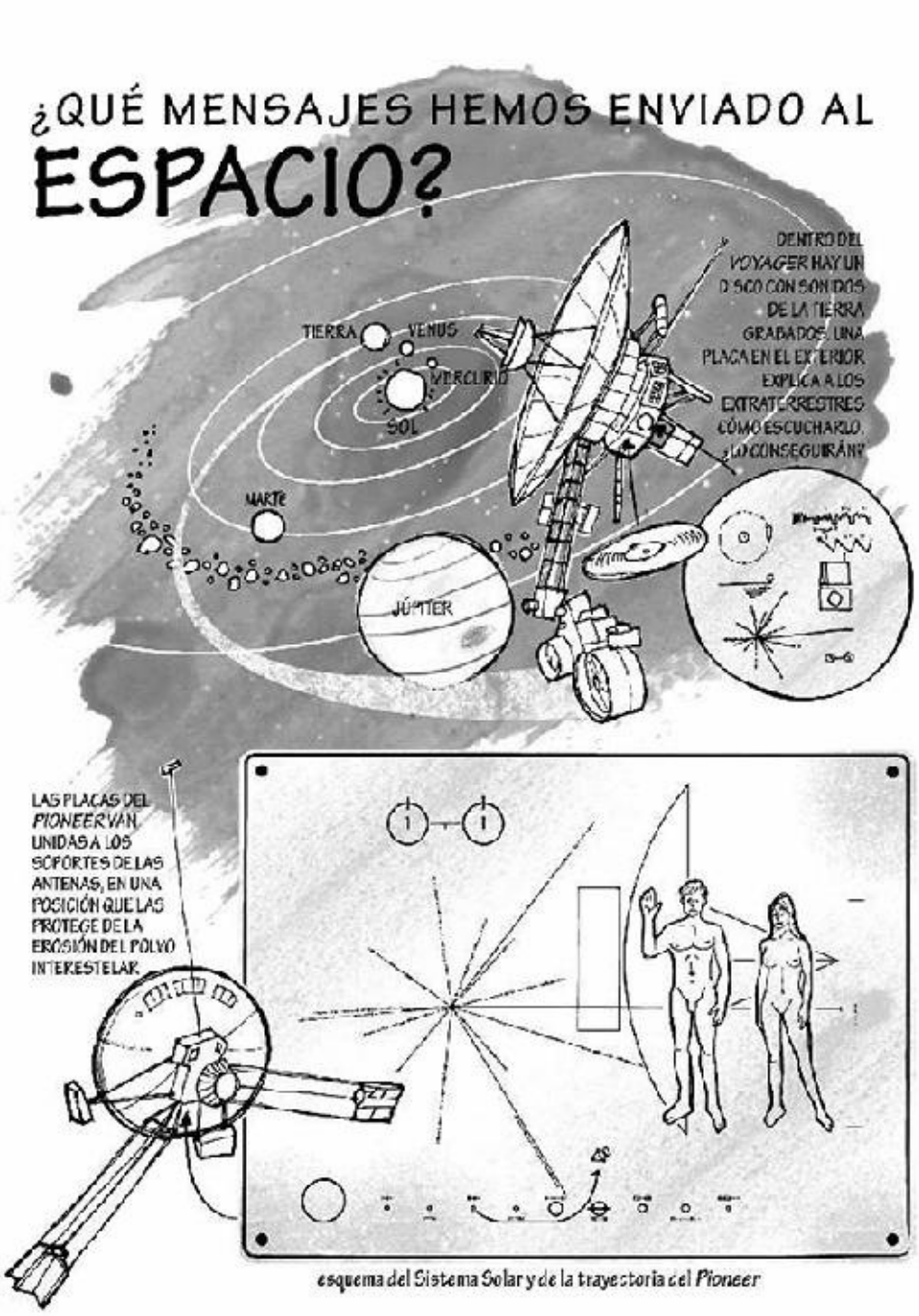
con nosotros.

¿Existen los extraterrestres?

Enrico Fermi, uno de los físicos más importantes de la historia de Italia, se preguntaba: «¿Dónde están todos? Si los que están ahí fuera son tantos y tan inteligentes, ¿por qué no se dejan oír?».

Hasta ahora, nadie se ha dejado oír. O no tenemos oídos lo suficientemente sensibles o no hemos esperado bastante.

Ha pasado medio siglo desde el programa Search for Extra Terrestrial Intelligence (SETI). Nacido en Estados Unidos y luego exportado por doquier, el SETI prevé dirigir los mejores telescopios a grupos de estrellas más o menos cercanas para captar posibles señales extraterrestres que se puedan reconocer como «inteligentes» (por ejemplo, si llegara una transmisión con la secuencia de los números primos). Cincuenta años de observación pueden parecernos muchos pero, en realidad, en comparación con los tiempos galácticos, son poquísimos.



esquema del Sistema Solar y de la trayectoria del *Pioneer*

Los investigadores del SETI han aprendido a hacer observaciones de radio sin coste alguno; gracias al sistema del cálculo distribuido, una red de millones de ordenadores personales (SETI@home) analiza las señales de radio que se recogen del cielo. Accediendo a la página setiathome@berkeley.edu, cualquiera puede descargar el *software* del proyecto, que una vez instalado se pone en

marcha cuando el ordenador está encendido pero inactivo. Esto significa que, en tu salvapantallas, aparecen continuamente las señales de los radiotelescopios. Tú mismo podrás ser algún día el primero que descubra una señal extraterrestre.

Sin embargo, tal vez en el futuro tendrás que cambiar de estrategia. Podrás obtener el mismo resultado con una señal óptica: un haz de rayos láser que emite impulsos de radiación brevísimos, pero extremadamente precisos y extraordinariamente potentes. Vista desde fuera, durante unas cuantas milmillonésimas de segundos la Tierra brillaría como diez mil soles. Si estuviesen mirando, serían ellos los que nos encontraran a nosotros y quizá iniciaran una amistad, o por lo menos un provechoso intercambio. ¡Una «leyenda espacial» dice que los extraterrestres son muy golosos! Un buen pastel a cambio de información. Pero nosotros nos preguntamos si tendrán una boca como la nuestra.

Los ovnis. ¿Realidad o fantasía?

OVNI es el acrónimo de Objeto Volador No Identificado (en inglés, UFO, Unidentified Flying Object). Con frecuencia, el deseo del hombre de hallar vida en el universo hace que los fenómenos aéreos cuyas causas no pueden ser determinadas con facilidad o de inmediato por un observador sean atribuidas a visitantes extraterrestres a bordo de platillos volantes.

El hecho de que se hable y se discuta sobre ellos, sin embargo, no significa que existan en realidad. Los avistamientos en el cielo, las bases militares y los informes secretos han alimentado la fantasía de los directores de cine y los escritores, pero también de gente corriente que confunde las bromas electromagnéticas de la atmósfera con visiones alienígenas.

También en relación con la base aérea Nellis, más conocida como Área 51, y a causa de sus elevados niveles de seguridad para impedir la entrada de extraños, en tierra y en el cielo, se han imaginado «cosas de ciencia ficción»: que se estaban construyendo allí naves espaciales con generadores, transportadas por vehículos extraterrestres capaces de atravesar las barreras del tiempo y de viajar a velocidades próximas a la de la luz. En realidad, el sitio está destinado a la proyección, desarrollo y experimentación de nuevos aparatos, en su mayoría

aeronaves tecnológicamente avanzadas, como aviones espía y drones de combate.

Chicos, si os lo creíais, sentimos desilusionaros, pero hasta hoy no ha bajado jamás a la Tierra ningún extraterrestre. Nosotros les seguimos dejando abierto el *stargate* y ponemos a su disposición toda nuestra tecnología: antes o después, si existen, se dejarán oír. En el fondo, esperamos que así sea.

EL FUTURO DE LA VIDA EN LA TIERRA

¿De dónde partimos para comprender la vida?

Naturalmente, para comprender la vida debemos empezar por el único lugar en el que estamos seguros de que existe vida, la Tierra, y tratar de entender todo lo que podamos de ella. Y al mismo tiempo intentar reproducirla en el laboratorio, porque, como decía el gran físico y premio Nobel Richard Feynman: «No puedo comprender lo que no puedo crear».

«Fabricar» desde cero un organismo vivo a partir de la materia inanimada es un poco como montar piezas de Lego: por ejemplo, construir artificialmente membranas celulares y luego añadirles la compleja arquitectura molecular de la vida.

Otro modo es desmontar pieza por pieza el Lego que nos hemos encontrado hecho, haciéndolo cada vez menos complejo, con el fin de estudiar la evolución de un mecanismo más simple y procediendo hacia atrás, hasta las moléculas con las que empezó todo.

En la actualidad se están llevando a cabo diversos experimentos en los cuales se hacen auténticos trasplantes de material genético, el código que dice cómo estamos hechos. El más fascinante es la tentativa de hacer «biología sintética», que «enseña» a las moléculas orgánicas a duplicarse, crecer y evolucionar, es decir, a que cobren vida.

¿De qué se ocupa la biología sintética?

Estudiando la composición de la célula, los científicos indagan sobre un hecho que les ha parecido misterioso: ¿por qué los ácidos nucleicos, de los cuales estamos hechos, se basan en un azúcar llamado ribosa, y no en la glucosa, mucho más difundida en la naturaleza?

La biología sintética permite hacer frente a estas preguntas. En un laboratorio de la Scripps Institution, en California, uno de los centros más antiguos y más importantes en la investigación científica sobre la tierra y el océano, se estudia ya hoy la manera de sintetizar la vida en una probeta, partiendo de material orgánico como el ARN (compuesto químico con estructura simple, de hélice simple, que contiene un azúcar denominada ribosa. El ADN se diferencia del ARN principalmente por su estructura, más compleja).

En la práctica, lo que han hecho en la Scripps es tomar un fragmento de ARN en forma de T que tiene la capacidad de unirse a otras moléculas similares. Al principio pareció que era capaz de reproducir nuevas versiones de sí mismo, pero después se comprendió que se rompía más de lo que se reconstruía.

Los investigadores no se desanimaron. Con un truco basado en el uso de dos formas de ARN complementarias, al final lo lograron.

Existen doce versiones distintas de estos ácidos replicantes que se podrían desarrollar mejorando su capacidad de reproducción. Se ponen los replicantes todos juntos en la misma olla y se les echa «comida», es decir, trozos de moléculas más pequeñas. Parece ser que las moléculas mejores se «comen» estos pedazos y los asimilan.

¡Hoy existe una especie que es capaz de reproducirse cada 15 minutos! La molécula que se reproduce mejor que las demás es muy distinta de su madre: ha experimentado una evidente evolución para sobrevivir.

Para concluir, tenemos moléculas que comen, se reproducen y evolucionan. Sin embargo, no son autónomas, es decir, no son (todavía) capaces de arreglárselas por su cuenta. Es una mala noticia, pero desde cierto punto de vista es buena: si se las arreglaran solas, podrían comernos vivos…, porque, cuando tienen hambre, las moléculas devoran todo lo que se les pone por delante.

Así pues, ¡hay que prestar atención a lo que queremos que consideren «comida»!

¿Las moléculas se replican hasta el infinito?

Para que lo comprendas mejor, te contaremos una leyenda de la India:

> Un día vino al palacio del rey hindú Iadava un brahmín, Lahur Sessa, quien, para alegrarlo, le enseñó un juego que había inventado: el ajedrez. Cuando el rey, muy contento, le preguntó qué quería como recompensa, le dijo: «Pondrás un grano de trigo en la primera casilla, dos en la segunda, cuatro en la tercera… y así hasta cubrir todo el tablero». El rey se maravilló de la petición, aparentemente mísera, pero al día siguiente se dio cuenta del problema. ¡Los matemáticos de la corte le explicaron que para llegar al final del tablero no hubiese bastado un milenio recogiendo grano por todo el reino! En efecto, el brahmín había pedido 18.446.744.073.709.551.615 —casi 18 trillones y medio— de granos de trigo.

Para poner un ejemplo más científico, la autoduplicación de la molécula nos recuerda la de la bacteria *Escherichia coli*, que tenemos en el intestino. La bacteria, si la dejáramos en paz, se duplicaría cada veinte minutos. Es fácil calcular que al cabo de tres horas habría 512 y al cabo de trece habría tal cantidad de bacterias que todas juntas tendrían una masa de 1 kilo. Si las dejamos seguir, y suponiendo que tengan alimento, pasados solamente tres días o poco más, ¡la masa de las bacterias superaría la del universo visible!

Por fortuna, la bacteria nunca podrá hacer semejante cosa, porque no encuentra suficiente alimento.

La producción *in vitro* de «replicantes que evolucionan» como este continuará sin duda. De aquí a los organismos vivos capaces de replicarse hay un camino corto.

Después de Darwin, ¿podemos pensar en una nueva evolución?

En 1859, Charles Darwin nos explicó su teoría de la evolución, es decir, cómo se ha pasado de los organismos más simples a los más complejos a través de la selección natural. Pero ni siquiera él supo explicar el origen de la vida.

Hoy, la que llamaremos Teoría de la Evolución del Todo (TET) explica cómo, a través de la evolución, se puede llegar de la materia inanimada, a su vez capaz de evolucionar, hasta nosotros. Según esta teoría, la vida es un conjunto dinámico de reacciones químicas y debe, evidentemente, someterse a las reglas de la química.

La química busca la estabilidad, así como en biología se busca la diferenciación y la complejidad. En ambos casos, el que vence en la competición es el más apto para sobrevivir. Las reacciones químicas, por ejemplo, tienen lugar a diferentes velocidades; será por lo tanto el producto más veloz el que más se replique y tenga ventaja sobre los demás. El vencedor se comerá toda la «comida», incluyendo la de los más débiles que, en consecuencia, se extinguirán.

La diferencia entre vida y no vida, ¿se encuentra toda ella (quizá) en la manera en que se organizan y replican aquellas moléculas que están en el vértice de su cadena evolutiva? Quién sabe; es una hipótesis fascinante.

Pero retrocedamos en la escala evolutiva. Las proteínas de las que están hechos nuestros músculos y los filetes que nos comemos son solamente cierto número, mientras que las teóricamente posibles son muchas más.

Los elementos de los que están compuestas las proteínas son los mismos que figuran en la tabla periódica. Pero estos elementos, a su vez, proceden de la nucleosíntesis cosmológica, acaecida en los primeros tres minutos del universo. Las estrellas «escogieron» sintetizar precisamente esos elementos y no otros. Lo hicieron porque los elementos escogidos son los más convenientes desde el punto de vista energético.

Andando como los cangrejos, hemos llegado al momento en el cual en el espacio hay protones, neutrones y electrones inmersos en la luz, pero antes aún de que el universo empiece a enfriarse y a expandirse hay solamente quarks y leptones, concentrados en un espacio de las dimensiones de un pomelo.

Si damos un paso más hacia el pasado, nos encontramos en el tiempo de Planck, es decir, en los primeros 10-43 segundos de existencia del pequeñísimo universo, que tiene la longitud de Planck, es decir, 10-35 metros. Atención a este punto: si damos un paso más hacia atrás, nos hundimos en la oscuridad, en una vorágine de preguntas sin respuesta. El hilo rojo que nos ha venido guiando

hasta ahora parece romperse.

Deducimos que, probablemente, no somos producto de la casualidad sino resultado de una evolución. Sin embargo, ninguna teoría de la evolución logra explicar cómo hemos nacido.

EL CEREBRO Y EL ORDENADOR: ¿JUNTOS?

¿Qué hay dentro de nuestra cabeza?

Todo el mundo sabe qué hay dentro de nuestra cabeza, hasta quienes lo usan poco: el cerebro. Es el órgano principal del sistema nervioso central. Utiliza el *input* (del inglés *to put in*, «poner dentro») de nuestros cinco sentidos, que hacen de unión entre el cerebro y el resto del mundo, para sentir las emociones, predisponer estrategias, acumular datos y tomar decisiones. Del análisis del *input* de los cinco sentidos y sobre la base de las decisiones tomadas, es capaz de producir el *output* (*to put out*, «poner fuera»), a modo de órdenes enviadas por sus neuronas al resto del organismo en las formas más variadas. Por ejemplo, se nos hace la boca agua cuando vemos un rico pastel y percibimos su olor; nos ruborizamos cuando nuestro compañero o compañera de pupitre nos mira con interés; sentimos temor cuando nos hacen una pregunta en clase, desagrado cuando comemos algo que no nos gusta, o miedo cuando vemos una serpiente; nos vienen palabras a borbotones cuando tenemos que hacer valer lo que pensamos…

Pero el funcionamiento del cerebro está todavía poco claro. Nos falta el esquema de los circuitos y de los códigos neuronales relativos, es decir, el libro de instrucciones necesario para comprender ese magnífico ordenador que tenemos en la cabeza.

¿El cerebro se parece a un helado de cucurucho?

La comparación resulta rara, pero es exactamente así. El cerebro humano no ha evolucionado modificándose cada vez, sino añadiendo un nuevo estrato a los existentes en cada paso evolutivo, asemejándose, en efecto, a un helado de cucurucho de sabores superpuestos.

En el cerebro humano hay tres «estratos» evolutivos. El «sabor» de bajo, el cercano a la base craneana, es el más antiguo y contiene, además del cerebelo, el tronco encefálico, con el bulbo y el mesoencéfalo. En su conjunto, este primer estrato no es muy diferente del de una rana y desarrolla funciones esenciales para la vida, por ejemplo, la respiración.

El estrato intermedio, constituido por el tálamo, el hipotálamo y el sistema límbico, hace cosas más complicadas: administra partes de la memoria y de la emotividad y también el sentido más primario que tenemos, el olfato. Hemos llegado así, más o menos, al cerebro de un ratón, que se las apaña de maravilla para encontrar el queso cuando tiene hambre.

Para que el cerebro llegue a ser un cerebro humano tenemos que añadir el tercer sabor al helado de cucurucho: la corteza, el último estrato de la evolución.

Si el cerebro del hombre hubiera sido construido hoy, habríamos podido proyectarlo mejor, sin pasar por las ranas y los ratones. En su versión actual (la única que tenemos y de la que estamos orgullosos) lleva la huella evidente de nuestra larga historia.

En el futuro, ¿podría el cerebro tener un estrato más?

Estos cambios evolutivos no se perfilan nunca en un reducido plazo de cincuenta años, sino que son el lento resultado de muchos milenios. No obstante, la tecnología de vanguardia podría llevar a incorporar partes mecánicas al cerebro humano, fundiendo personas y máquinas. Las integraciones robóticas en un

cuerpo humano no son ciencia ficción; por el momento hemos construido miembros para quien no tiene piernas o brazos, por ejemplo: combinando física, mecánica y robótica, Hugh Herr ha dado nuevas piernas a personas que las han perdido, empezando por él mismo. Como decía Darwin, el ambiente puede transformar un organismo, adaptándolo a lo que lo rodea. Si Hugh hubiese nacido cincuenta años antes habría sido un discapacitado. Hoy, este científico norteamericano, que perdió las piernas de pequeño, puede caminar y hacer caminar a muchas otras personas que están en su misma circunstancia.

Pero integrar prótesis cibernéticas en el cerebro podría ser una deriva peligrosa…

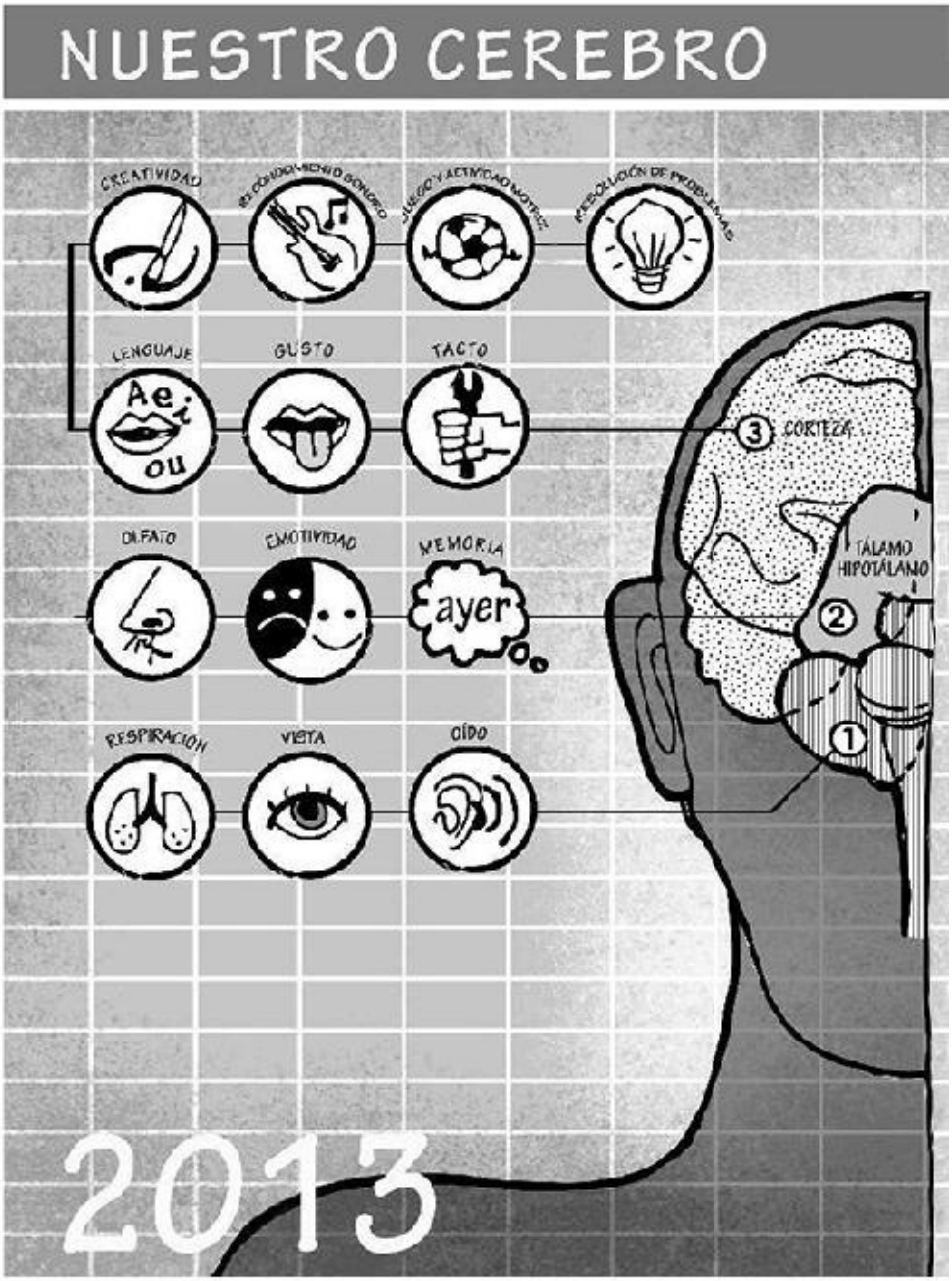
¿Qué tiene de especial nuestro cerebro?

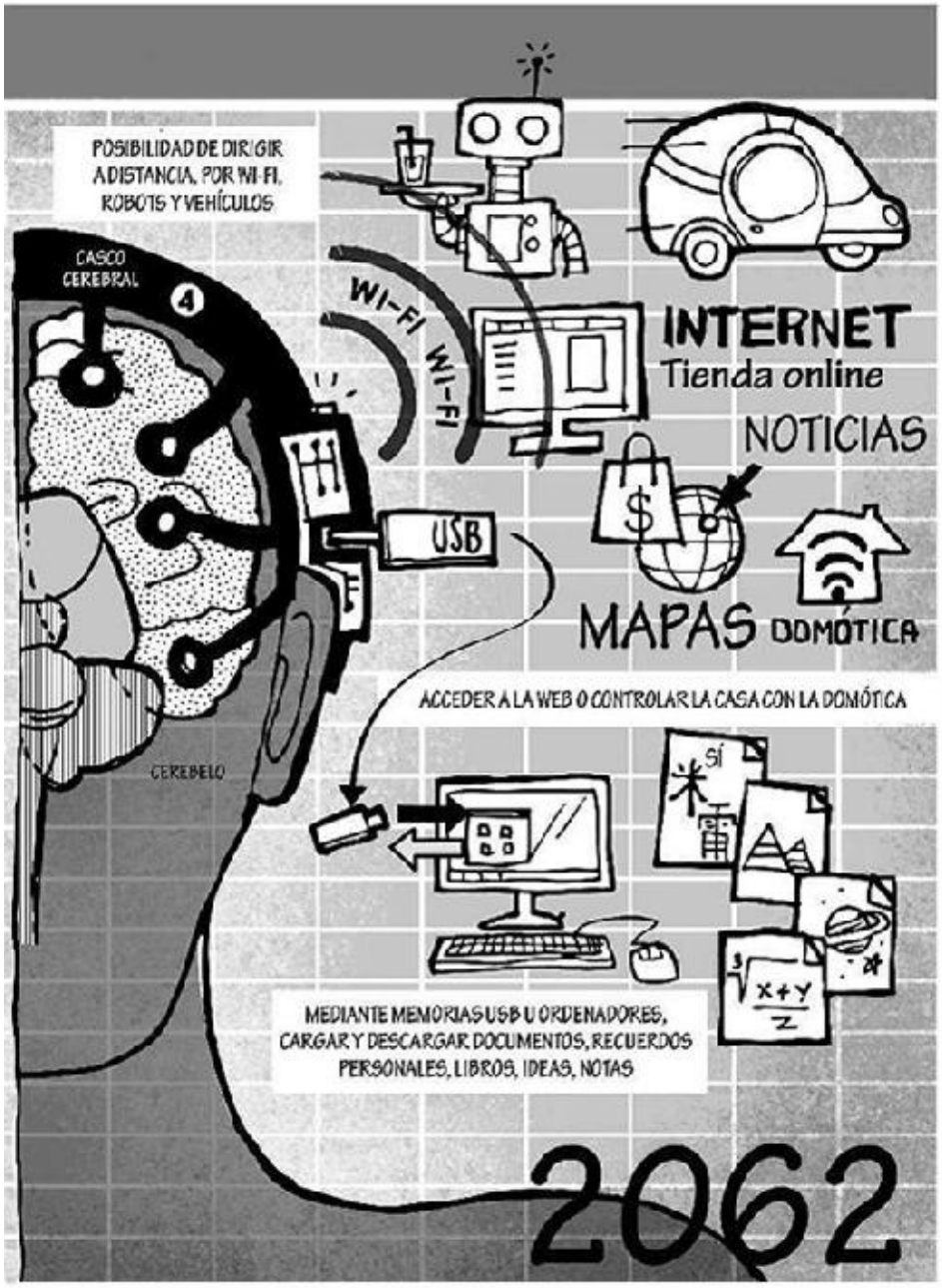
No se trata del tamaño o de la masa: el cerebro de un elefante de hoy o el de un hombre de Neanderthal son mucho más grandes que el nuestro. En los seres humanos, los hombres, que no son más inteligentes que las mujeres, tienen un volumen del cráneo lígeramente mayor que ellas. Tampoco se trata de la relación entre la masa del cerebro y peso corporal: el pájaro mosca, por ejemplo, tiene una proporción mayor que la del hombre. Es la calidad de nuestra inteligencia: la dimensión de la creatividad, imaginación, abstracción… y mucho, mucho más. Estas son las cualidades que distinguen a nuestro cerebro del de otros animales o seres vivos.

¿Cómo funciona el cerebro?

Las células del cerebro, denominadas neuronas (si quieres ver cómo se han formado, consulta *www.benessere.com/salute/atlante/sist_nervoso.htm*), extienden sus largas colas para establecer contacto con otras neuronas. Esos contactos permiten que una señal viaje de una neurona a otra. Cada neurona puede unirse a otras miles, ya sean cercanas, ya se encuentren en el otro

hemisferio. Se forman de este modo unas redes que pueden adoptar un número increíble de configuraciones, y la manera de organizarse de cada red concreta ejerce un efecto enorme sobre el funcionamiento del propio cerebro.





El profesor Olaf Sporns y sus compañeros de la Universidad de Indiana, en una simulación por ordenador, generaron 1600 neuronas en la superficie de una esfera y luego las unieron unas con otras. Con ese «cerebro de juguete», los científicos se divirtieron creando conexiones. Para empezar, se limitaron a unir neuronas próximas: con esta red, el cerebro produjo pequeñas actividades

casuales. Después unieron todas las neuronas entre sí, generando un esquema diferente: el órgano empezó a encenderse y apagarse con un ritmo regular. Finalmente, los científicos construyeron una red intermedia hecha de uniones tanto cercanas como a larga distancia entre las neuronas. En este punto, el cerebro se tornó complejo; cuando las neuronas empezaron a enviar impulsos eléctricos se formaron zonas luminosas en todo el cerebro, unas chocaban entre sí, otras viajaban por la superficie de la esfera formando círculos concéntricos.

Es evidente que en la Universidad de Indiana están en el camino adecuado para simular en el ordenador el funcionamiento de nuestro cerebro. Es un gran paso adelante hacia la comprensión de este órgano complejo.

¿Por qué nos comportamos de una determinada manera?

No esperes gran cosa de una neurona solitaria *in vitro*, no es una campeona en creatividad. Pon juntas 100 000 millones, con 100 trillones de conexiones, y tendrás un cerebro humano admirable por su complejidad.

Un método sencillo y seguro, basado en la observación, para entender el funcionamiento del cerebro es producir imágenes del cerebro a alta resolución. Es la tarea del *imaging* cerebral.

Contamos con varios métodos electrónicos para ver qué parte del cerebro se activa cuando pienso en algo o reacciono a un estímulo. Las partes del cerebro que se activan son diferentes para cada pensamiento (si pienso en una excursión o en una persona a la que quiero) y para cada acción (si corro o si hablo). Aumentando la resolución de los instrumentos, e inventando otros nuevos, se podrá aislar el grupo de neuronas responsable de cada pensamiento, seguir su desarrollo y su movimiento; es decir, el paso del pensamiento a la acción: veo llegar un puño y trato de esquivarlo, oigo la voz de la persona amada y me falta la respiración. El escritor italiano Alessandro Manzoni, en *Los novios*, describe las reacciones humanas de un modo tan preciso que nos hace comprender que las conocía a fondo.

Renzo está en el hospital de apestados, se inclina…, y estando así, con la

cabeza apoyada en la pared de paja de una de las cabañas, llega a su oído una voz. ¡Oh, cielos! ¿Es posible? Toda su alma está en ese oído: se ha quedado sin aliento… ¡Sí! ¡Sí! Es aquella voz… Si Renzo no lanzó un grito, no fue por temor a que se dieran cuenta de su presencia, fue porque le faltaba la respiración. Le fallaron las rodillas, se le empañó la vista, pero fue un primer momento, al segundo estaba erguido, más despierto, más vigoroso que antes; en tres saltos cruzó la cabaña, se halló en el umbral y vio a la que había hablado… «¡Lucía! ¡Te he encontrado! ¡Te encuentro! ¡Eres tú de verdad! ¡Estás viva!», exclamó Renzo, avanzando tembloroso hacia ella.

Piensa en cuántas reacciones se desencadenan a causa de una voz: Renzo advierte la expansión de un sonido que le llena el alma, la respiración se le bloquea, quiere gritar pero no tiene fuerzas, nota las rodillas blandas y se le nubla la vista. Después, de repente, se despierta, siente más vigor, salta con las mismas piernas que antes le fallaban, ve a su amada y habla en voz alta, con énfasis.

El paso del pensamiento —creado por la visión— a la acción sigue unos senderos, *pathways* en inglés. Estos senderos cerebrales representan la gran incógnita del estudio del cerebro. Sabemos algo de la partida y mucho de la llegada, pero hay todavía una gran laguna de conocimiento entre las moléculas y el comportamiento. Y ahí es donde hay que trabajar.

¿Espaguetis con guindilla o caramelo de menta?

Existen algunas experiencias que tienen una explicación molecular. Si te comes unos espaguetis picantes, dirás que tienes calor. Desde un punto de vista físico, no es cierto: no hay transmisión de calor. El hecho es que la capsaicina (la molécula «picante») estimula los receptores «vaniloides», que son los mismos que se activan por las fuentes de calor. Tanto es así que si has comido guindilla y bebes algo caliente, la sensación se hace más intensa.

Pasando del estímulo externo a la sensación que experimentas y que estás tratando de describir, lo que experimentas es explicable en el plano químico y

biológico.

Lo mismo sucede con el mentol. Aquí, los receptores sensibles a la menta son también los del frío. Por esto percibes la sensación de frescor asociada al caramelo de menta. Por desgracia, la guindilla y la menta se hallan entre los pocos casos de explicación sencilla y directa de los caminos cerebrales que van de la bioquímica del contacto con el objeto a las percepciones que suscita. Todavía no somos capaces de partir de una detallada descripción molecular de lo que ocurre a nivel de las sinapsis para pasar después, a través de un circuito bien definido, a un comportamiento consciente que implica «sentir» calor, frío, etc. Pero en un futuro próximo, guiados por la guindilla y la menta, podremos describir la «química de las emociones», y desde ella llegar también a la curación de muchas enfermedades, como las que afectan a la memoria.

¿Internet modifica la capacidad de la memoria?

La utilización de buscadores, como Google, ha cambiado la manera de memorizar la información. Lo que cuenta hoy no es acordarse de una información, no es saber cómo consultar una enciclopedia, sino adónde dirigir el ratón.

En la biblioteca, los tiempos de investigación son muchos más largos y tienen unos resultados inciertos, que no dependen solamente de nuestra voluntad sino también de la disponibilidad de los textos, de la competencia del bibliotecario y de los horarios de apertura del centro. El ambiente riquísimo en información en el que estamos inmersos aviva nuestras capacidades memorísticas y, según la revista estadounidense *Science*, podría explicar el misterioso aumento de valor del coeficiente intelectual medido en el último siglo. Internet nos ha permitido ya almacenar muchísima información fuera de nuestro cuerpo e ir más allá de la capacidad de memorización de nuestro cerebro y del querido y viejo cuaderno de notas. Se podría decir que internet es la consecuencia de este objetivo: la expansión de la inteligencia fuera del cuerpo. Pero, recuérdalo bien, para todo hay una medida justa, y estar todo el día

navegando en internet puede tener efectos colaterales desagradables, por ejemplo fatiga ocular y dolor de cabeza, además del perjuicio de no hacer los deberes y no tener tiempo para jugar al aire libre.

¿Nos comportaremos como las abejas?

Hay quien piensa de otra manera. El neurobiólogo inglés Simon Laughlin tiene una interesante teoría: el cerebro humano y la inteligencia son limitados; uno no puede aumentar su cociente intelectual más allá de cierto nivel, dado que el gasto de energía requerido para las funciones cerebrales limitaría la que hace falta para las funciones corporales, por ejemplo respirar o correr. Laughlin sostiene que en nuestro cerebro no puede haber más de un número determinado de neuronas; las neuronas no pueden establecer más de un número determinado de conexiones entre ellas, y estas conexiones producen solamente un número determinado de impulsos por segundo. La mente humana, sin embargo, podría mejorar sin la intervención de la evolución biológica. Podríamos comportarnos como las abejas, que actúan de acuerdo con sus hermanas de colmena, formando una entidad colectiva mucho más inteligente que la suma de las partes que la componen. También nosotros, a través de las interacciones sociales, hemos aprendido a unir nuestra inteligencia a la de los demás. De manera similar a las abejas, formamos un equipo de once jugadores para meter un balón dentro de la portería, o ponemos en común nuestras ideas para hacer realidad un gran proyecto.

¿Cómo se capturaban las ideas del cerebro de Cicerón?

Cicerón fue un célebre filósofo, orador y escritor romano, además de un político del último periodo de la República romana (siglo I a. de C.). Su extensísima producción literaria abarca desde discursos políticos hasta escritos de filosofía y

retórica.

Cuando a Cicerón se le ocurría una reflexión o formulaba uno de sus discursos, llamaba, a cualquier hora del día o de la noche, a su esclavo Tirón (que para darse más prisa dormía echado en la puerta del cuarto de su amo), el cual, para que no se le escapara ni siquiera una palabra, mientras Cicerón iba desarrollando las ideas que tenía en la cabeza, grababa frenéticamente con un estilete los caracteres latinos sobre tablillas de cera y lograba escribir más o menos a la velocidad a la que hablaba Cicerón. Y por su «culpa» generaciones de estudiantes se han visto obligadas a leer y traducir largos discursos.

Hoy tenemos mejores maneras de sacar las ideas de nuestro cerebro, y mañana será todavía mejor.

Del dictáfono al *software* de transcripción. ¿Qué son?

Desde los años cincuenta del siglo pasado se ha venido utilizando el dictáfono: una máquina que registra la voz para que luego se pueda escuchar y transcribir tranquilamente.

Actualmente, para recoger la cosecha de nuestro *output* cerebral contamos con sistemas aún más sofisticados y directos, equivalentes a una cinta magnética más un «transcriptor» humano: hablamos delante de un ordenador que transcribe lo que decimos tan bien (o casi) como Tirón. O bien hablamos delante de una *webcam*…, un día el *software* de transcripción de la voz podría incluso descodificar, por ejemplo, el lenguaje de signos. Sería una revolución para una parte de la humanidad que padece discapacidad.

Si hemos llegado ya a esto, no es improbable que en el futuro se llegue a una conexión directa entre nuestro cerebro y un ordenador.

¿Cómo podría tener lugar la transmisión del «dato-pensamiento»?

Si es cierto que las neuronas transmiten señales eléctricas, un único chip instalado dentro del cerebro por medio de una operación indolora, o un *pendrive* USB detrás de la oreja, podrían enviar fuera de nuestra cabeza la actividad de un millón de neuronas. Si tuviésemos ese *pendrive*, lo podríamos introducir después en un ordenador y todos nuestros pensamientos aparecerían en la pantalla.

Un sistema de 100 000 microtransmisores cerebrales, acoplado a un sistema externo de receptores, podría administrar todo nuestro cerebro, que está compuesto por 100 000 millones de neuronas, tantas como estrellas hay en la Vía Láctea.

La ventaja sería una comunicación inmediata, completa y perfecta entre el resto del mundo y nuestro cerebro, sin tener que usar los cinco sentidos y la movilidad muscular.

Faltan por inventar dos tecnologías clave: cómo convertir directamente las señales neuronales y cómo implantar, sin causar daños, miles de microscópicos receptores y transmisores en el tejido cerebral vivo. Los resultados podrían ser sorprendentes; se podrían descargar los pensamientos de salida y cargar las informaciones de entrada. Enciclopedias enteras, la *Divina Comedia*, la sintaxis china, la lengua rusa serían transmitidas al interior de nuestra cabeza en un microsegundo, tras ser cargadas en una adecuada memoria de tránsito externa. Ya no tendrías el problema de tener que estudiar: con ponerte la memoria USB detrás de la oreja, podrías irte a jugar a la pelota y al final del entrenamiento, bajo la ducha, repasar mentalmente la lección de historia. Qué felices serían todos: los alumnos, los profesores, los padres y los entrenadores de los equipos de fútbol.

Cargar la memoria de tránsito externa es fundamental, pero si te paras a pensarlo no es muy diferente de ir a la biblioteca o buscar en Google. Sí es diferente la administración de los datos de salida por lo que respecta al formateo y transcripción de los pensamientos. Sería necesario establecer el formato y los códigos, un *software* para encriptar los datos y las listas de destinatarios.

¿Se podrán enviar mensajes telepáticos?

En efecto, probablemente haciendo un casco de motorista que se pudiera

completar, por encargo, con un transmisor de frecuencia específica, correspondiente a un cerebro con el que quisiéramos comunicar. Una opción similar al «You and Me» de los teléfonos móviles.

Se combinaría así la telepatía con la posibilidad de enviar de manera eficiente datos para el aprendizaje y la memorización, y, además, una recopilación de datos de todos aquellos pensamientos que se esfumarían si no se captaran de inmediato.

Piensa en Mozart: nunca hacía una tachadura en sus partituras, muchas de las cuales han llegado hasta nosotros en forma autógrafa. Esto significa no solamente que el gran compositor era ordenado y preciso, sino también que tenía toda la música en la cabeza. Su límite era la escritura: imaginémoslo sentado a una mesa escribiendo, a la luz de una vela, con una pluma de oca. Está tratando de poner en el papel las notas que brotan a borbotones de su mente, ansioso por darse prisa porque detrás de la música pensada y dispuesta ya está «oyendo» otra. Si en su vida, que fue demasiado breve, hubiera tenido una memoria USB o un casco neuronal, su producción habría sido sin duda mucho más extensa.

Del mismo modo, podrás leer este libro con los ojos cerrados en un microsegundo.

Más difícil, pero no imposible, es imaginar que un ordenador pueda «transcribir» una obra de arte como la escultura. Haría falta una impresora tridimensional, que contara con cajones en los que cargar polvo de mármol de Carrara para conseguir trasponer el *David* de Miguel Ángel. Las impresoras tridimensionales existen ya y serían capaces de esculpir una estatua, pero de plástico. No es tan disparatado pensar en añadir polvo de mármol al plástico; tal vez el resultado sería imposible de distinguir del original.

¿Qué es el proyecto Blue Brain de IBM?

Blue Brain es un proyecto que surgió en Estados Unidos de la mano de un grupo de científicos de IBM que saben pensar «más allá de los cánones». El proyecto pretende reproducir en el superordenador Big Blue, compuesto por casi 10 000 procesadores unidos entre sí, un modelo detallado de los circuitos neuronales que forman la corteza cerebral.

La corteza ocupa el 1,80% del cerebro humano y representa su parte más compleja, de la que dependen el pensamiento, la memoria, el aprendizaje y el lenguaje.

Recientemente, los escáneres han logrado hacer visibles las diversas uniones interneuronales, permitiendo así la observación en tiempo real.

La intención es llegar a una «copia informática» precisa del cerebro, completada por nuestros recuerdos y nuestros «sistemas operativos». Se utilizará para estudiar los procesos de las funciones cognitivas más importantes mediante simulaciones guiadas por imágenes de alta resolución.

Obtendremos una comprensión más profunda de nosotros mismos y, al mismo tiempo, habrá a nuestra disposición nuevas técnicas que se podrán aplicar a las inteligencias artificiales. Servirá también para entender las perturbaciones cerebrales que causan enfermedades mentales como el autismo y la esquizofrenia.

¿Podremos hacer milagros?

No queremos sustituir a Dios, pero algo lograremos hacer nosotros también, dentro de nuestras posibilidades. Los ciegos podrán ver, los sordos oír y los paralíticos andar.

Cuando tengamos una unión de *hardware* mediante electrodos cerebrales que permita una conexión directa (o una interfaz entre neuronas y ordenador), además de la comprensión del *software* instalado en nuestro cráneo (es decir, el mecanismo de control de nuestros pensamientos), será posible ayudar a muchas personas.

Estamos hablando de «neuroprotésica», la ciencia del futuro, la de las prótesis mentales.

Estamos próximos a realizar la primera interfaz cerebro-máquina (Brain-Machine Interface) capaz de devolver la movilidad completa a una persona paralítica. Será posible confeccionar un mono robótico, el exoesqueleto, que sostendrá el cuerpo de los enfermos y, según el contacto con diversos tipos de superficie, enviará mensajes al cerebro, que de este modo podrá controlar sus movimientos.

Para los invidentes se podrá establecer una interfaz entre el nervio óptico y una especie de *webcam* externa o, para satisfacer exigencias estéticas, dos globos oculares biónicos. Podremos también pensar en sustituir la retina dañada por un sensor electrónico capaz de captar la luz que entra en el ojo y transformarla en señales eléctricas que serán transmitidas al cerebro desde el nervio óptico. Se podría construir el sensor basándose en los detectores ultrasensibles proyectados para la astronomía del futuro, con una resolución espacial de millones de píxeles y una resolución cromática de gran telescopio. Es verdad que un instrumento semejante requiere luego un ordenador superminiaturizado (que está aún por inventar) para mandar de modo ordenado las señales al nervio óptico. El resultado final podría ser mejor que el ojo de un lince y representar un paso evolutivo para el hombre.

Para ayudar a quien, por el contrario, haya perdido el oído, podemos imaginar el envío de señales acústicas, transformadas en impulsos eléctricos, al oído interno, reemplazando la función del oído externo. Este implante electrónico, con posterioridad, será capaz de generar las señales adecuadas para la transmisión al cerebro desde el nervio acústico.

¿Qué es el «conscienciómetro»?

El conscienciómetro es un instrumento científico que sirve para medir el contacto del individuo con la realidad; en él está trabajando el profesor Giulio Tononi, famoso neurocientífico. A Tononi se le ha ocurrido traducir el estado de consciencia a un lenguaje matemático, a fin de poder medir los reflejos y, justamente, el estado de consciencia de un sujeto humano: 0 cuando dormimos sin soñar, 100 cuando estamos leyendo o jugando al *ping-pong*. Son de particular interés los grados intermedios: cuando, durante la clase de historia, te pones a pensar en tus cosas y luego te vas adormilando poco a poco, pero también después de una anestesia o de un trauma.

Todos los anestesistas saben que para comprobar los reflejos fundamentales de un paciente que ya respira por sí mismo hay que hacerle preguntas de dificultad creciente, desde «abre los ojos» o «¿cómo te llamas?» hasta «¿cuántas habitaciones hay en tu casa?». Si luego se le pidiera que enunciara el teorema de

Pitágoras, tanto si respondiese correctamente como si nos mandara a freír espárragos sería una buena señal: ¡está claro que el paciente está despierto y alerta! Con un conscienciómetro no serían necesarios todos esos trámites y el estado del paciente se pondría de manifiesto enseguida: precisamente por esa rapidez y precisión en situaciones de emergencia, podrían salvarse muchas vidas.

Pero la consciencia no se pierde solamente por un trauma, bajo los efectos de la anestesia o en el transcurso de una clase aburrida en el colegio, sino también durante el sueño. Dormir es una función esencial para nuestro cuerpo y para el de la *Drosophila*, la «mosca de la fruta» más amada y torturada en los laboratorios. De hecho en algunos laboratorios han creado moscas insomnes; al estudiarlas, se ha planteado la hipótesis de que exista un gen que regule la capacidad de dormir más o menos bien. Si ese gen estuviese presente también en el hombre, habríamos dado un paso adelante hacia la medición de la consciencia, ya que podríamos controlarla a través del sueño.

A los científicos les gustan mucho los gusanos, y sobre todo el *Caenorhabditis elegans*, un pequeñajo de 1 milímetro de longitud que tiene 302 neuronas. Pero la peculiaridad de su simple vida de gusano viene dada por su piel transparente, gracias a la cual las neuronas se ven desde fuera y se pueden estudiar mejor. Es el sueño de todo neurocientífico: ¡sería estupendo que también las personas tuvieran la cabeza transparente!

Si fuese así, se observarían las complicadísimas relaciones entre las neuronas como si estuvieran detrás de un cristal. Si un compañero te dice «eres un gusano», no te desmoralices; a los neurocientíficos les encantaría, así podrían mirar dentro de nuestra cabeza.

¿Los animales sueñan?

Una vez descubierta una manera eficiente de hacer funcionar un conscienciómetro, sería fascinante aplicarlo a los animales. Por ejemplo, utilizarlo con nuestro gato o nuestro perro, con el caballo o el delfín, para hacer una comparación cuantitativa entre la consciencia de los animales y la de los seres humanos. Por supuesto, no podrán decirnos cómo se llaman, pero a lo mejor conocemos sus sueños: ratones sin límite, ganas de mimos, praderas

infinitas y mares incontaminados.

¿Se puede medir la consciencia de un ordenador?

Poco a poco, los ordenadores están cada vez más cerca de comportarse como seres inteligentes: piensa en la habilidad de Watson, el ordenador de IBM que venció al campeón absoluto del concurso de televisión *Jeopardy*. Jugar al ajedrez con un ordenador también se ha convertido en misión imposible para los comunes mortales.

Aun cuando parezca increíble, la idea de que un ordenador experimente «sensaciones» después de haber visto un paisaje por medio de una cámara de vídeo y de haber escuchado un discurso a través de los micrófonos, y al final «sienta» que es consciente como nosotros, los seres humanos, está a la vuelta de la esquina. Comprender los atributos de una máquina sensible nos permitirá no solo comprender nuestro cerebro, sino también prepararnos para el día, tan soñado por la ciencia-ficción, en que viviremos al lado de otros seres conscientes creados por nuestras manos. Por supuesto, se mantiene la duda (y el temor) de que puedan ser más inteligentes y más potentes que nosotros… ¿Lograremos entonces convivir en paz?

GENÉTICA Y MEDICINA

¿Qué sabemos del ADN?

En 1943, el físico austriaco Erwin Schrödinger fue el primero en intuir que la vida era sobre todo una transmisión de informaciones. Lo comprendió, en parte, observando los retratos de la familia imperial de los Habsburgo: hijo, padre, abuelo, bisabuelo y tatarabuelo tenían el mismo mentón especialmente pronunciado. Pero ¿qué hacía un embrión «habsbúrgico», dedicado a organizar células y a crecer deprisa, para acordarse de formar un mentón como el de sus predecesores? Se comprendió que la información era transmitida a través de un código genético contenido en el ácido desoxirribonucleico (ADN).

En 1953, los científicos Francis Crick y Jim Watson descubrieron la elegante estructura del ADN: una doble hélice trenzada (como los ochos de un jersey de lana, en 3D). Pero hizo falta otro decenio para descubrir que las bases químicas del ADN deben leerse en grupos de tres y para entender cómo se logra transmitir la información. Estos «tripletes de nucleótidos» son los que codifican los aminoácidos de los que están hechas las proteínas que forman nuestra carne y la de los animales.

A finales de los años setenta se secuenció por primera vez el código genético completo de un ser vivo: un virus pequeñísimo compuesto solamente por 5000 nucleótidos pero capaz de comer bacterias. Después llegó el científico norteamericano Craig Venter, que consiguió descodificar con exactitud la información genética de muchísimas especies, incluida la humana.

El conocimiento del patrimonio genético detallado de cada uno de nosotros es útil para saber cuánto viviremos o qué enfermedades podemos desarrollar.

¿No te ha pasado nunca que el médico, durante una visita, te ha preguntado por las enfermedades padecidas por tu madre o tu padre? Puede parecer triste, pero ciertas cosas es útil saberlas con anticipación para poder prevenirlas.

¿Se podrá sintetizar el ADN?

Nuestro código genético es el resultado de 4000 años de evolución y es común a casi todas las formas de vida que existen en nuestro planeta, por lo menos hasta que descubramos una nueva vida, que llamaremos vida 2.0. Ahora que lo hemos comprendido, podemos sintetizar el ADN de organismos complejos.

En 2010, algunos científicos calcularon, programaron y luego recrearon en el laboratorio el cromosoma de una bacteria con 582 000 nucleótidos, que en la actualidad es el compuesto químico más grande de la historia del hombre.

Hemos empezado ya, en los laboratorios de Craig Venter, a crear bacterias que vivirán y ejercerán sus funciones perfectamente y estarán programadas para hacer lo que queramos: comerse el petróleo vertido al mar o el dióxido de carbono del aire, o matar todas las demás formas de vida de la Tierra. Depende de quién llegue a hacerlo antes y qué intereses persiga. Si te paras a pensarlo, es un tema descrito en muchas películas, por ejemplo *La cuna de la vida*: en ella vemos a la protagonista de *Tomb Raider* luchando contra un despiadado y cruel bioterrorista internacional que quiere usar los virus y las bacterias como arma biológica y enriquecerse vendiendo antivirus.

¿Se puede leer el genoma?

Una sociedad estadounidense de biotecnología ha presentado recientemente una máquina capaz de descifrar, en menos de veinticuatro horas, los 3000 millones de letras que componen el ADN humano. Hasta ahora, la operación requería por lo menos una semana. El secuenciador tiene el tamaño de una impresora láser de oficina y promete una nueva revolución en el terreno de la medicina. ¡Pero

también podría revolucionar el campo de la astrología! En lugar del horóscopo diario, las personas podrían leer su genoma para saber qué enfermedades padecerán, de cuál morirán y cuánto tiempo vivirán. Atención, porque una mala interpretación de los datos podría conducir a terapias incorrectas y poner en peligro la salud, sobre todo desde un punto de vista psicológico.

La maquinaria, que ya existe en forma experimental, será muy útil en el terreno de la investigación: para estudiar a personas afectadas por un tumor o por enfermedades actualmente incurables o incluso desconocidas, para buscar eventuales defectos genéticos que no están en la base. Puede aprovecharse, en fin, para evaluar la eficacia de un medicamento en un determinado paciente y personalizar sus efectos.

¿Qué es la epigenética?

La epigenética es la ciencia que estudia la interacción entre el genoma (nuestro patrimonio genético) y el medio circundante. Lo que convierte a cada uno de nosotros en un determinado tipo de individuo no es únicamente lo que está escrito en el mensaje genético, sino que es también el resultado de lo que comemos (si nos nutrimos con alimentos sanos o a base de Nocilla y patatas fritas), del estrés al que estamos sometidos, de las condiciones de iluminación (piensa que en la ciudad de Papá Noel, Rovaniemi, en invierno no hay más que tres horas de luz), del lugar donde vivimos (en la selva amazónica o en Hong Kong) y de muchos otros factores ambientales. Precisamente de la epigenética, en los próximos cincuenta años, de la que esperamos los mayores progresos.

¿Qué hace el sistema inmunitario para transformarse continuamente?

Nuestro sistema inmunitario es en parte innato y en parte adquirido. Es indispensable para nuestra vida: nos protege de enfermedades infecciosas de

todo tipo. Consigue transformarse continuamente para adaptarse a las astucias de los agentes patológicos, que a su vez mutan para no dejarse matar. El sistema inmunitario mejora sus cualidades de policía sin destruir las células y órganos de la persona.

Las respuestas para el futuro las encontraremos estudiando las enfermedades más terribles del sistema inmunitario, como el sida, el lupus eritematoso sistémico, la artritis reumatoide, la espondilitis anquilosante, la esclerosis múltiple y las alergias. Cuando hayamos comprendido a fondo el funcionamiento de nuestro sistema inmunitario y de su evolución, sabremos cómo derrotar estas terribles patologías.

¿Por qué las células nacen todas iguales y después se diferencian?

Debemos recordar que los seres humanos procedemos de una única célula: el zigoto. Es este el que después empieza a multiplicarse de manera geométrica: se divide por la mitad, es decir, se convierte en 2 células, luego en 4, en 8, y así sucesivamente. Al principio, las células son todas iguales, pero luego, mientras avanza la multiplicación, sucede algo increíble, casi mágico. Las células empiezan a diferenciarse y a seguir caminos distintos. Se transforman en uno de los 220 tipos celulares del cuerpo humano: hay que formar los ojos, pero también los riñones, las orejas, las uñas, el hígado, el cerebro y la sangre. Nadie sabe cómo se las arreglan para especializarse tan magníficamente en la construcción de órganos y tejidos tan diferentes entre sí. Pero lo más extraordinario es que nadie se lo enseña, nadie las guía: no tienen maestro, ni ingeniero, ni director de orquesta. ¡Simplemente… sucede!

Si al principio las células hacen todas lo mismo y tienen las mismas tareas —igual que nosotros recibimos la enseñanza básica y luego la media—, después empiezan a diferenciarse y a especializarse. Sin embargo, nosotros escogemos a qué tipo de instituto queremos asistir, en qué facultad queremos matricularnos de acuerdo con nuestros intereses y pasiones y, sobre todo, nadie nos prohíbe cambiar de idea o de dirección, pero ellas, por el contrario, cuanto más se

especializan más ligadas se mantienen a su papel: una obrera especializada en formar tejidos musculares únicamente podrá hacer ese trabajo en la fábrica de nuestro cuerpo.

En el transcurso de los nueve meses del embarazo, partiendo de una célula se llega a miles de millones de células superespecializadas que forman un conjunto de una complejidad inimaginable por su variedad y número de operaciones, pero también por su estabilidad y armonía.

En el adulto, lo que queda de aquellas células primeras «totipotentes» (que pueden crear cualquier tipo de tejido), luego «pluripotentes» (ya diferenciadas pero que todavía pueden elegir, por ejemplo, entre formar un fémur y dedicarse a una costilla), son las denominadas células estaminales adultas, esto es, las células maduras de todos los tejidos. Por ejemplo, las células estaminales hematopoyéticas (las que son capaces de autorreproducirse y de dar vida a las células de la sangre: glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas) regeneran continuamente los doce distintos tipos celulares inmunitarios y de la sangre, mientras que las células estaminales de la piel son responsables de que la piel y el pelo vuelvan a crecer en el plazo de unas pocas semanas, pero no pueden ser utilizadas para reconstituir un músculo cuando se corta o una uña si se rompe.

Los genetistas del futuro descubrirán cómo consiguen las células realizar este milagroso desarrollo diferenciado. Partiendo de un zigoto, que ya conocemos, serán capaces de reproducir un fenotipo, es decir, el conjunto de todas las características observables de un organismo: su morfología, su desarrollo, sus propiedades bioquímicas y fisiológicas y también su comportamiento, y esto será de gran ayuda para la curación y «reconstrucción» de nuestro cuerpo.

La dificultad no estará solamente en comprender qué hacen las células para crecer, dividirse y diferenciarse. Será necesario entender cómo y por qué pierden las células la «potencia», es decir, la capacidad de desarrollo que tenían en su origen, cuando todos los destinos eran posibles para ellas.

¿Nos puede crecer a nosotros un nuevo miembro igual que a una lagartija le vuelve a crecer la cola?

Cuando nos hacemos un corte, la piel vuelve a crecer y al final es más o menos igual que antes. No obstante, nuestro cuerpo sabe hacer este pequeño milagro solamente a escala muy reducida; si nos amputan un miembro, no vuelve a crecer. Nuestras células no consiguen dar marcha atrás, de un estadio altamente especializado a otro indiferenciado, que vale para todo, como las células estaminales embrionarias.

La cola de la lagartija y de la salamandra, las pinzas del cangrejo o los «brazos» de la estrella de mar vuelven a crecer porque sus células estaminales, a diferencia de las nuestras, están programadas para hacerlo.

Para tratar de imitar a estos animales, estamos estudiando los diversos tipos de tejido intercelular, el que mantiene unidas las células, las conecta y las organiza. Con este sistema ya hay en marcha experimentos encaminados a hacer que vuelvan a crecer falanges de un dedo, y con su uña. Se trata de transmitir la información justa, esto es, de encontrar un sistema para enseñar a las células lo que tienen que hacer.

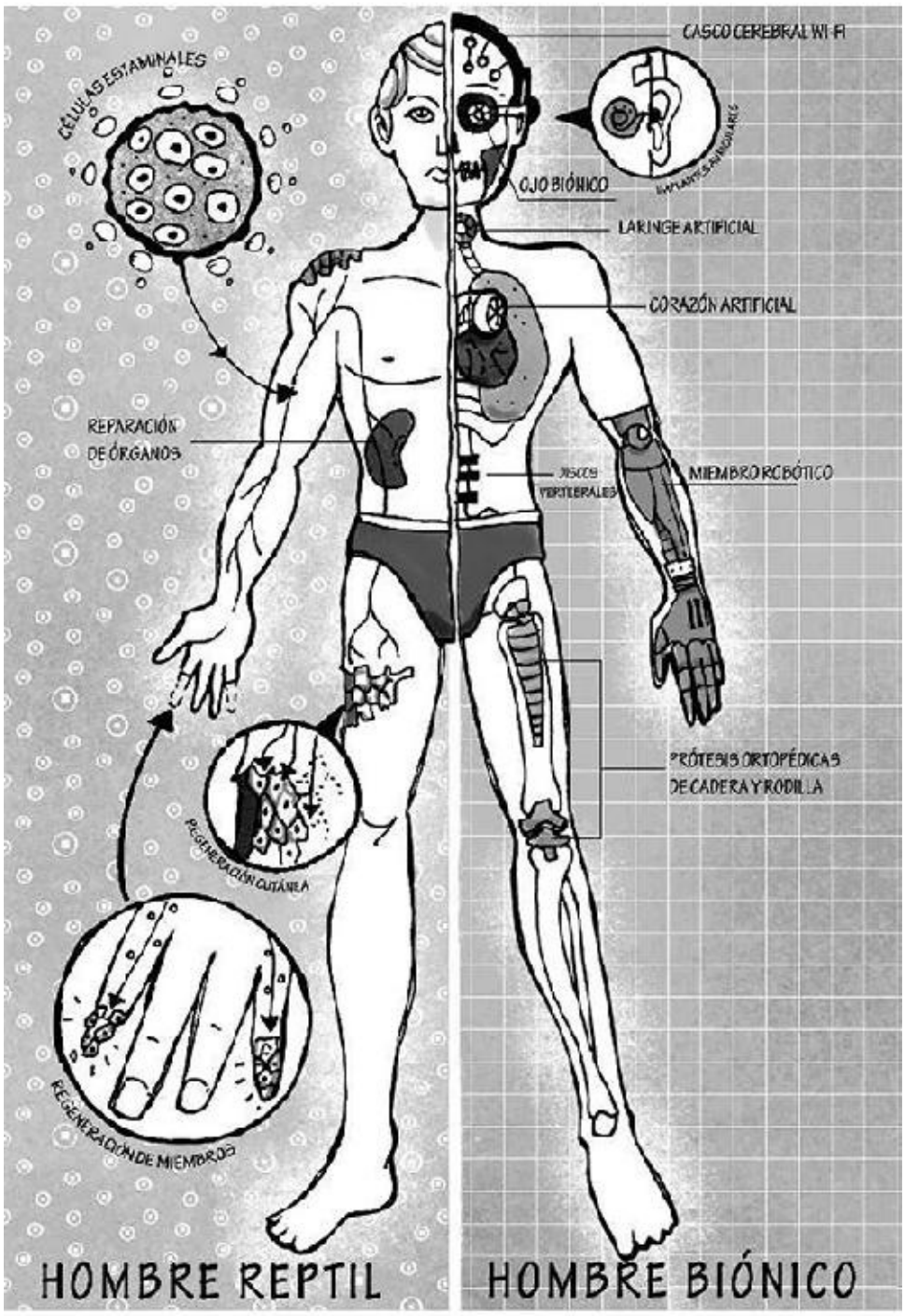
Se ha obtenido algún milímetro de crecimiento de una falange con su uña en un hospital de Estados Unidos, con un trasplante celular especial. Para enseñar a nuestro cuerpo a reconstruir por sí mismo un miembro entero tenemos todavía mucho camino por recorrer. ¿Lo lograremos antes de que regrese el cometa Halley? Como veremos, podría llegar antes la robótica médica, que avanza a pasos agigantados en la construcción de miembros biónicos cada vez más sofisticados. Hay actualmente una competición por establecer quién llegará a dar a una persona a la que le falte un miembro (por ejemplo, como consecuencia de un accidente de tráfico) la capacidad, al mismo tiempo, de usar una pala, tocar el violín o acariciar la mejilla de una niña. Todavía no sabemos si nuestro futuro será más de «lagartija» o de «hombre biónico».

¿Se puede reprogramar una célula?

Actuando sobre el patrimonio genético de la célula, dentro de pocas décadas conseguiremos reprogramarla. Cuando esto suceda, muchas enfermedades serán curables y la incapacidad debida al envejecimiento podrá ser menos invalidante. Reprogramar las células significa devolverlas al estado inicial de «totipotentes»

o al inmediatamente posterior de «pluripotentes».

Las investigaciones en curso son muchas; ya en 2006 y 2007, el profesor Shinya Yamanaka y sus compañeros de la Universidad de Kioto lograron cambiar la identidad de las células de un ratón, partiendo de las epidérmicas (de la piel) e incorporándoles unos pocos genes seleccionados. Este experimento ha revolucionado la manera de pensar de la biología del desarrollo humano, ha modificado muchos puntos de vista y podría contribuir a solucionar el problema ético, porque ya no se trabajaría con células extraídas de embriones sino con células adultas de la persona enferma, a las que se obligaría a efectuar una «regresión» hasta un estadio inicial para que, una vez restituidas al donante, pudieran reconstruir los tejidos dañados de su cuerpo. Esto podría aplicarse a los huesos, el corazón, el cerebro, el hígado y todos los órganos humanos.



Citaremos un testimonio de Konrad Hochedlinger, el joven científico de la Universidad de Harvard, en el que expresa todo su asombro y admiración ante el gran misterio de la vida, unos sentimientos que te auguramos en tu futuro como biólogo:

> Recuerdo bien el entusiasmo que experimenté aquella mañana de otoño de 2006 cuando, mirando un microscopio en mi laboratorio, vi una colonia de células que parecían precisamente células estaminales embrionarias. Tras haberse dividido en una placa durante casi tres semanas, ahora formaban un montoncito. Y veía brillar los mismos marcadores fluorescentes que los científicos consideran signos de la pluripotencia de las células embrionarias. Solo que las células que yo estaba mirando no procedían de un embrión: eran células normales de ratón, que parecían rejuvenecidas gracias a la adición de un simple cóctel de genes.

Si ha sido posible obtener este resultado con células de ratón, podemos esperar que se logre también con células humanas. Es fundamental comprender los procesos que retrasan el reloj biológico de la célula.

Actualmente, para introducir los genes de la reprogramación en la célula adulta se utilizan vectores especiales capaces de integrarse directamente en el ADN de la célula huésped, convirtiéndose en parte de su genoma. Por desgracia, sin embargo, estos genes son potencialmente dañinos: de hecho, una tercera parte de los ratones a los que se han trasplantado células estaminales pluripotentes han desarrollado tumores.

Las rosas del futuro están llenas de espinas, pero con un poco de paciencia se podrán quitar. Creemos que para Halley 2062 seremos capaces de crear bellísimas rosas que no pinchen, es decir, células estaminales terapéuticas que no provoquen tumores.

El descubrimiento de una «fuente de la juventud» que permita evitar (o al menos disminuir) las consecuencias del envejecimiento y de las enfermedades es un sueño tan antiguo como el ser humano. La capacidad de devolver al estado embrionario las células adultas es, sin duda, lo más cercano a ese sueño que se haya realizado jamás.

Hagamos un poco de trabajo de laboratorio. ¿Podemos curar la anemia falciforme?

La anemia falciforme está causada por una mutación genética de la sangre; se llama así por la característica forma de hoz que adoptan los glóbulos rojos del enfermo. Como todas las formas de anemia, va acompañada de palidez, astenia (la persona siente cansancio y se fatiga con facilidad), piel fría (sobre todo en las extremidades) y dolor de cabeza. Para curarla, el primer paso es reprogramar las células con el fin de que se conviertan en células estaminales pluripotentes. Pueden ser reparadas si se eliminan de ellas los genes de la enfermedad. Cuando después estén dispuestas para reproducirse, por ejemplo formando sangre, lo sabrán hacer de manera sana. Las células reparadas, trasplantadas al ratón anémico, serán capaces de reproducir glóbulos rojos normales. Esta técnica ofrece la posibilidad de reparar mutaciones genéticas antes de reintroducir las nuevas células, un planteamiento que se usa con las células estaminales adultas que regeneran naturalmente los tejidos. Los éxitos de estos experimentos, desarrollados en 2007 por Rudolf Jaenisch, del Massachusetts Institute of Technology de Boston, son modestos, pero, en teoría, este método, en el que se profundizará en el futuro, podría ser la solución para todas las demás enfermedades humanas causadas por una mutación conocida.

¿Existen los superhéroes?

Los X-Men son un grupo de «superhéroes» mutantes que dan título a varias series de cómics publicadas por la editorial estadounidense Marvel: héroes y bandidos, pero sobre todo mutantes, es decir, personas nacidas con un patrimonio genético distinto del humano y por lo tanto poseedoras, desde su nacimiento, de habilidades increíbles, de poderes que las hacen superiores al resto de la raza humana.

Sin embargo, desde siempre la humanidad ha despreciado al «diferente», y en el caso de los mutantes la hostilidad se convierte en miedo, odio, marginación y persecución insensata. Los mutantes se esconden entre la gente corriente, pero cuando descubren que no están solos aprenden a aceptarse y a poner al servicio del bien sus superpoderes, con la intención de crear un mundo en el que humano y mutante, *homo sapiens* y *homo superior*, puedan vivir en paz y armonía. Sus filas pueden variar, los poderes y los rostros pueden transformarse, pero hay una

cosa que no cambia: son héroes y luchan incesantemente para hacer realidad su sueño y proteger a la humanidad de malvados como Magneto y el Profesor X.

La Marvel nos ha divertido mucho y nos ha hecho soñar con sus personajes de dibujos animados y películas de ciencia-ficción, pero algo parecido existe de veras en la realidad. Se trata de niños y adultos superdotados, que tienen un coeficiente intelectual superior a la media. Forman parte de una asociación llamada Mensa cuyo objetivo es descubrir y alentar la superinteligencia humana en beneficio de la humanidad, propiciar contactos sociales estimulantes entre personas semejantes, que de otro modo tenderían a permanecer aisladas, y efectuar investigaciones sobre la naturaleza y las aplicaciones de la inteligencia.

Para formar parte de la asociación hay que tener un CI (coeficiente intelectual; si quieres medir el tuyo, entra en *www.mensa.es*) superior al del 98% de la población mundial. Quién sabe, a lo mejor también tú podrías ingresar en Mensa: no hay más que probar. Aparte de la inteligencia, aunque no es poco, ni siquiera los miembros de Mensa tienen los superpoderes de Hércules y Sansón, los hombres más fuertes del mundo, del Hombre Elástico, que se estira como una goma, de Flash, que viaja a velocidades increíbles, o de Susan, la Mujer Invisible.

Hablando de mutaciones genéticas positivas, podemos señalar algunos casos entre nosotros. La tolerancia a la lactosa, que permite digerir la leche y los alimentos que la contienen, se deriva, según los genetistas, de una mutación favorable que tuvo lugar hace unos 10 000 años y que afectó a los habitantes del Cáucaso, nuestros antepasados. Los «caucásicos» somos más afortunados que otros (si te gusta la leche, claro).

Por otra parte, la mutación de la apolipoproteína dota a los habitantes de un pueblo italiano, Limone sul Garda (portadores de dicha mutación), de una resistencia innata a los efectos dañinos de los niveles elevados de «colesterol malo» y triglicéridos en la sangre. Además, esta proteína mutada ha conferido a los habitantes del pueblo una extremada longevidad: una docena de residentes (de una población de unas 1000 personas) han superado los 100 años. Esperemos que pronto se averigüe cómo utilizarla para toda la población.

Las mutaciones genéticas, como las imaginadas para los X-Men o la picadura de una peligrosa araña que modifica el ADN de Spiderman, en realidad no solamente otorgan poderes extraordinarios, sino que también pueden privar a una persona de las facultades ordinarias. Existen en efecto mutaciones que causan grandes limitaciones: el daltonismo (la incapacidad para distinguir los

colores) está causado por una mutación de los genes que gobiernan la capacidad de recibir la luz; el albinismo (tez y cabellos blancos, ojos rojos y muy sensibles a la luz) es una disfunción debida a la mutación del gen que controla la melanina, sustancia que hace que nos bronceemos; el síndrome de Down está asimismo causado por una anomalía en los cromosomas y limita las capacidades intelectuales de quien lo padece.

El síndrome de Bloom, provocado por una mutación del gen BLM (que desarrolla la doble hélice del ADN de modo que pueda replicarse), es otro ejemplo de ello. Las personas afectadas son más bajas que la media y con frecuencia tienen la cara larga y estrecha; además, pueden tener la mandíbula más pequeña y nariz y orejas prominentes. Tienen tendencia a sufrir cambios de pigmentación en la piel y dilatación de los vasos sanguíneos, en especial después de exponerse al sol. Otras consecuencias incluyen deficiencias en el aprendizaje, retraso mental, enfermedades pulmonares crónicas, diabetes e inmunodeficiencia, que trae consigo repetidas pulmonías y afecciones del oído. Por lo general, los hombres afectados por el síndrome de Bloom no producen esperma, y por eso son estériles. Las mujeres suelen llegar a la menopausia antes de lo habitual.

Como ves, no todo lo que «muta» es «superheroico»…

En el futuro, ¿seguirán siendo útiles los trasplantes de órganos?

Mediante la reprogramación celular, incluso los trasplantes de órganos, que en el último medio siglo han dado vida y esperanza a tantos enfermos, quedarán «superados»: simplemente, en vez de trasplantar un corazón, se hará crecer uno nuevo. Luego, el corazón enfermo será sustituido, como se hace con una pieza de recambio de una moto.

Entonces, ¿será la genética la que supere a la tecnología? Si hoy, gracias a la biocibernética, hemos llegado a implantar «miembros robóticos», mañana, gracias a la genética, podremos reconstruir una mano, con dedos más largos y puntiagudos que antes. Y, ¿por qué no?, al que tenga la «cabeza dura», sustituirle

las neuronas por otras de un tipo más «blando».

Los ratones, ¿tendrán un corazón nuevo?

Gracias a las células estaminales de un corazón de ratón, implantadas en la estructura de las células cardiacas, poco a poco se ha observado que el tejido del corazón se reforma, crece, se vasculariza, se inerva y, finalmente, se pone a latir. En realidad, lo que se ha hecho es desmontar y rehacer el corazón existente. Lo que se hará en el futuro consistirá en crear un corazón nuevo a partir de un montoncito de células y un libro de instrucciones.

¿Nos convertiremos en una especie de Peter Pan que no envejece nunca?

Peter Pan es un niño eterno. Se niega a crecer y pasa una azarosa infancia en la isla de Nunca Jamás.

A pesar de su nombre, pequeños y mayores se preguntan dónde está esa isla fantástica. Nosotros lo sabemos: se encuentra en los laboratorios de genética, preparada para nacer en el océano de los deseos más osados del género humano.

El envejecimiento no se deriva de un solo problema bioquímico, sino de una suma de múltiples carencias genéticas. La diferencia en el futuro inmediato vendrá determinada precisamente por nuestro mapa genético y también por la manera en que cada uno de los genes sepa «expresarse» en nuestro cuerpo. Sospechamos y pronto demostraremos que si envejecemos no es por culpa de las células individuales, sino de la interacción entre muchas de ellas. Gracias a la genómica, es decir, al control de nuestros genes, lograremos resolver el intrincado sistema de coordinación entre los diversos órganos de un cuerpo que envejece.

¿Cuál es el secreto de las moscas Matusalén?

En un laboratorio de la Universidad de California se han creado las moscas Matusalén: son insectos que viven cuatro veces más que las moscas normales. Pero ¿cómo lo consiguen?

Son el resultado de una selección genética elemental. No se deja que se abran los huevos de la primera generación de moscas hasta que ha muerto la mitad. Las moscas que nacen son más fuertes que las madres. Se repite el experimento, y luego otra vez y otra vez, durante cientos de generaciones de moscas. Sin hacer nada especial, al final se seleccionan únicamente los patrimonios genéticos más fuertes y más estables, capaces de vivir largo tiempo. Repitiendo el experimento durante tantas generaciones se impone a las moscas una especie de evolución darwiniana acelerada. Solamente las más fuertes sobreviven y pasan el mensaje a su prole.

Aplicar este principio al ser humano no significa hacer como los espartanos, que arrojaban desde lo alto de las rocas a los niños que no eran perfectos. Pero, como las moscas Matusalén tienen casi tres cuartas partes de los genes en común con nosotros, estudiando su patrimonio genético podremos quizá comprender las intrincadas relaciones que hacen posible una vida larga.

En el último siglo se ha duplicado más o menos la esperanza media de vida de un ser humano, sobre todo en los países más ricos. Hoy en día, las personas que pueden decir que han visto dos pasos del cometa Halley son pocas, casi una excepción. En el transcurso de dos generaciones, una buena parte de la humanidad logrará hacerlo. Hoy ya ha nacido el niño (tal vez seas tú) que caminará sobre Marte y conseguirá ver Halley tres veces, esto es, llegará a vivir 152 años.

¿Irá la gente al mercado a comprar hijos?

Pedido y entrega a domicilio. Es el mercado del semen, que funciona ya desde hace tiempo.

La magia del amor y de la espera, la duda sobre cómo será tu hijo, si se

parecerá a papá o a mamá, si será rubio o moreno, si tendrá los ojos azules o castaños, podrían desaparecer.

En este mercado se podrán escoger no solamente las características físicas, sino también las potencialidades mentales. Quién sabe qué elegirán las futuras mamás. ¡Si en efecto quieren ir al mercado del semen para hacer un niño, esperemos que no se dejen guiar por la moda o por un actor en boga en ese momento! Hacerlo de la manera tradicional, con un papá que lo querrá mucho aunque no sea guapísimo o superinteligente, seguirá siendo la mejor solución, y además evitará el nacimiento de generaciones de niños todos iguales, hechos en serie.

¿Qué es la nutrigenómica?

La nutrigenómica es la ciencia que proporciona la «dieta» justa para llegar a mejorar el genoma de cada uno de nosotros.

Se tratará de nutrir nuestro genoma con píldoras de «gustos» diversos dependiendo de las características de nuestro cuerpo. Los principios activos de las píldoras sabrán activar aquellos mecanismos de reparación y mejora que la madre naturaleza ha dado gratuitamente a quienes tienen un genoma más afortunado que el nuestro.

Hemos visto que las enfermedades del sistema inmunitario, las alergias y muchas otras varían misteriosamente de una persona a otra. El porqué se encuentra en la diversidad de nuestro genotipo, similar al de todos los seres humanos pero diferente en los detalles. En el futuro, gracias a la nutrigenómica, se pasará de la curación en masa a la personalizada. Las farmacias se convertirán en sastrerías a medida y las medicinas serán específicas para cada sujeto, tendrán grabadas las iniciales del ADN de cada uno. Comprendiendo y aprovechando la individualidad, dentro de algunas generaciones podremos llegar no solamente a ver Halley tres veces sino también a celebrar las «bodas de criptonita» (que no existen, las hemos inventado para quien festeje los 100 años de matrimonio), y a disfrutar de una triple generación de nietos convirtiéndonos en tatarabuelos. Todo eso será posible porque, gracias a la nutrigenómica, seremos capaces de mejorar de un modo inteligente nuestro patrimonio genético.

¿Inventaremos el amor en píldoras?

Encantamientos, talismanes, ritos mágicos para encender la llama del amor. ¿Conoces los filtros que la maga Circe usó para retener a Ulises en la isla o la poción mágica que bebieron Tristán e Isolda?

Lo que nosotros llamamos «amor» tiene también un origen químico en algunas sustancias presentes en nuestro cuerpo.

El sentimiento de confianza y afecto que experimentamos cuando una persona nos quiere y toma nuestra mano es provocado por la hormona oxitocina (pero, atención, en dosis altas estimula las contracciones uterinas en las mujeres que van a dar a luz). Existen asimismo sustancias que estimulan la producción de dopamina, un neurotransmisor que los neurólogos relacionan con la sensación del amor romántico.

Estas sustancias estarán pronto disponibles en el mercado farmacéutico, fabricadas a partir de ciertos tipos de hormonas.

Sin embargo, siempre esperamos que el amor surja como un acontecimiento natural y que sea acogido por el otro sin necesidad de química. ¡Y si tu amado o tu amada te rechaza, no te preocupes, a lo mejor no es la persona adecuada!

TECNOLOGÍA FUTURISTA

¿Serán las matemáticas una de las llaves de la puerta del futuro?

Solamente con que te pudieras imaginar las cosas tan estupendas que son posibles de hacer con las matemáticas, dedicarías todo tu tiempo a estudiarlas, no por obligación, como haces a veces en el colegio, sino por pasión.

En el siglo VI a. de C., Pitágoras, cuyo teorema conoces bien, dijo: «El lenguaje secreto de la creación se encuentra en su totalidad encerrado en los números».

Dos mil años más tarde, en 1623, Galileo Galilei escribió en *El ensayador* que el universo «está escrito en la lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otra figuras geométricas, medios sin los cuales es humanamente imposible entender una palabra; sin ellos es dar vueltas en vano por un oscuro laberinto».

En el siglo XIX, el matemático ruso Nikolái Lobachevski (17921856) afirmó: «No hay rama de las matemáticas, por abstracta que sea, que no pueda ser aplicada algún día a los fenómenos del mundo real».

En 1951, Isaac Asimov, científico y maestro de la ciencia-ficción, escribió la *Trilogía de la Fundación*: durante el periodo de decadencia de un imaginario Imperio Galáctico, un matemático, Hari Seldon, elabora la «psicohistoria», es decir, «la ciencia del comportamiento humano reducida a ecuaciones matemáticas», que analiza los comportamientos de las masas prediciendo matemáticamente sus reacciones, y estudia un proyecto para salvar el imperio

del hundimiento.

Fantasía y ciencia se encuentran.

El descubrimiento del lenguaje matemático ha permitido un formidable avance en física y en muchas otras ciencias, hasta las aplicaciones de la investigación. Einstein formuló la teoría de la relatividad, en la cual se basa hoy el sistema GPS, que hace posible que el navegador de nuestro coche nos indique el camino. De hecho son solamente las correcciones a la propagación de la señal del satélite, calculadas sobre la base de la teoría de la relatividad de Einstein, las que permiten determinar la posición de tu coche en un radio de pocos metros y sugieren a la irritante vocecilla que te diga: «Ahora gire a la derecha…». La misma unión de investigación teórica y aplicaciones vale para la simulación de un viaje a Marte o para la descodificación de las ondas sonoras del ecógrafo que te muestra a tu hermanito, que sonríe en la barriga de tu madre.

¿Qué cosas se pueden hacer con los números primos?

Quién sabe cuántas veces te lo habrá explicado tu profesor y tú habrás pensado: «¡A mí, los números primos me importan un pimiento!».

Sin embargo, estos números enteros, que son indivisibles salvo por 1 o por sí mismos (1, 2, 3, 5, 7, 11, 13…), son verdadera magia.

Nadie sabe cómo están distribuidos los números primos, por ejemplo si son casuales o de algún modo regulares, del 1 al infinito. Pero sabemos que son infinitos, como los demás números, por ejemplo los números enteros.

El 17 es un número primo porque únicamente se puede dividir entre 1 o entre sí mismo; el 15 no lo es porque, además de entre 1 o entre sí mismo, se puede dividir entre 3 o entre 5. Los dos divisores de 15, el 3 y el 5, son números primos.

Si consiguiéramos construir los números primos, podríamos descomponer cualquier número entero, incluyendo los de los códigos secretos.

La mayoría de los códigos bancarios y de los PIN del cajero automático están basados en la suma y descomposición de números primos. Si alguien diera

con un método seguro para calcular y predecir la secuencia de los números primos, en el transcurso de una noche y con un ordenador potente podría saber todos los códigos bancarios del mundo y «transferir» el dinero que hay en toda la Tierra a una isla abandonada del Pacífico… o a tu cuenta en el banco.

¿Hay un premio para quien resuelve un problema de matemáticas?

El año 2000, en el Collège de France, una prestigiosa universidad parisiense, se celebró un congreso de matemáticas organizado por el magnate norteamericano Landon T. Clay; con tal ocasión se formularon los siete nuevos problemas para el milenio que iba a comenzar.

Por la solución de cada uno de los siete problemas, el magnate ha ofrecido un millón de dólares.

El ruso Grigori Perelman, mientras trabajaba en una hojita de papel durante sus trayectos de pie en el metro de Moscú, demostró un difícil caso matemático: la conjetura de Poincaré, que tendrá importantísimas aplicaciones a problemas modernos de la física teórica, como la teoría de cuerdas y la teoría de la gravitación cuántica.

Gracias a la solución del problema, Perelman fue propuesto para la medalla Fields (el equivalente del premio Nobel de Matemáticas); además, el Instituto Clay le ofreció el millón de dólares.

Y él, que es un tipo muy especial, ¿sabéis lo que hizo?

Rechazó las dos cosas, afirmando que el dinero en Rusia solamente conduce a la violencia. Inmediatamente después, en Moscú, aparecieron camisetas con su cara y el letrero «NO TODO ESTÁ EN VENTA». He aquí la prueba de que el dinero no da la felicidad.

¿Para qué servirá resolver las ecuaciones de Navier-Stokes?

Los matemáticos Claude-Louis Navier, francés, y Georges Stokes, inglés, desarrollaron en el siglo XIX un sistema de ecuaciones que describen el movimiento de los fluidos, es decir, de los líquidos y los gases. Este sistema sería utilísimo para calcular la circulación del fluido alrededor de un cuerpo inmerso en ese mismo fluido. Por ejemplo, ayudaría a comprender cómo se desliza el agua en torno al casco de una nave o el aire sobre la superficie del ala del Airbus A380.

La solución llevaría a hallazgos y avances excepcionales en los sectores aeronáutico y naval, con aplicaciones por ahora imprevisibles. Hay que profundizar en el conocimiento de por qué vuela un avión y averiguar cuál es su forma perfecta. Lo mismo se puede decir de un barco que navega por el mar o de un Ferrari que corre por la pista desplazando el aire.

Otro caso de aplicación del sistema podría ser el transporte de un iceberg desde Groenlandia hasta Sicilia.

Todos saben que el aumento de temperatura de nuestro planeta provocará graves problemas de sequía, los polos se irán derritiendo y enormes icebergs irán a la deriva. Cuando acaben en el océano, descendiendo hacia latitudes más cálidas, ese hielo de purísima agua dulce se derretirá mezclándose para siempre con el agua salada.

A algunos empresarios se les ha ocurrido una idea para no desperdiciar el agua dulce: envolver el iceberg en una bolsa como las que se usan en el supermercado para mantener la temperatura de los congelados, pero enorme; sujetarlo a un remolcador y poco a poco llevarlo a su destino antes de que se derrita.

Se ha pensado en un remolcador arrastrado por una gran cometa capaz de aprovechar la energía del viento para impulsar las embarcaciones durante la navegación. Esta es la nueva frontera de la náutica, que está buscando soluciones ecológicamente sostenibles a fin de reducir el consumo y sobre todo las emisiones nocivas.

Las simulaciones hasta ahora realizadas revelan que, durante el transporte del iceberg, aproximadamente el 30-40% de hielo se derretiría en el mar, dependiendo de las dimensiones del iceberg y de la velocidad de la travesía.

Este sistema de aprovisionamiento de agua dulce parece más conveniente que ningún otro, incluyendo la desalinización. Dejemos el veredicto final sobre la viabilidad de la idea al *software* de la Dessault, la compañía aeronáutica

francesa que sabe también diseñar las alas de avión más revolucionarias del mundo.

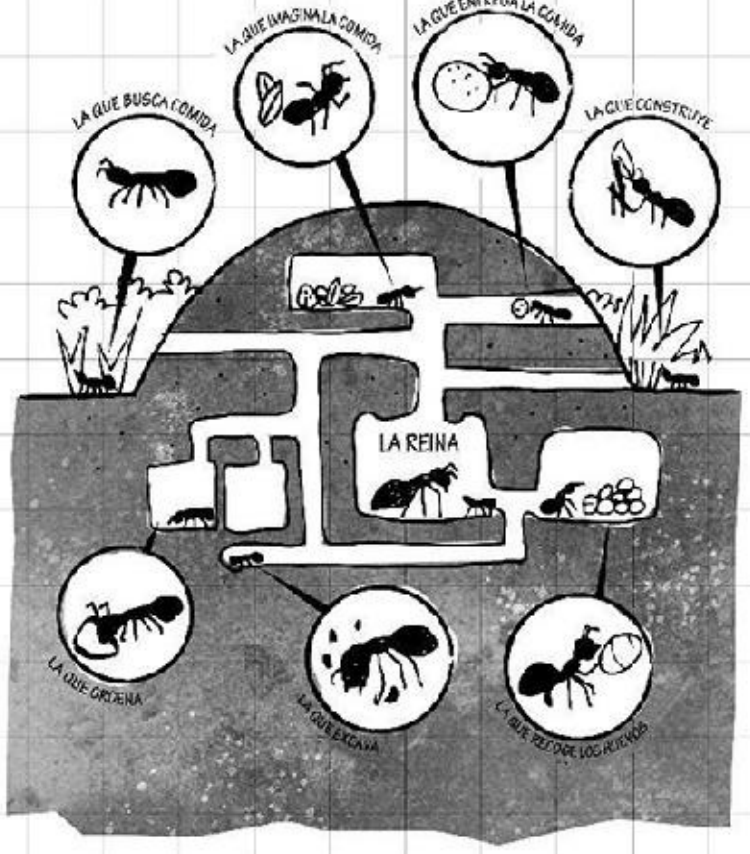
Han pasado menos de dos siglos desde que los profesores Navier y Stokes escribieron sus abstrusas ecuaciones de matemática pura. En su época nadie habría imaginado que aquellas extrañas fórmulas iban a servir para quitarle la sed a un lugar árido e irrigarlo. Quién sabe cuántas otras aplicaciones extrañas y futuristas nos reservan las matemáticas.

¿Qué son y para qué pueden servir los sistemas complejos?

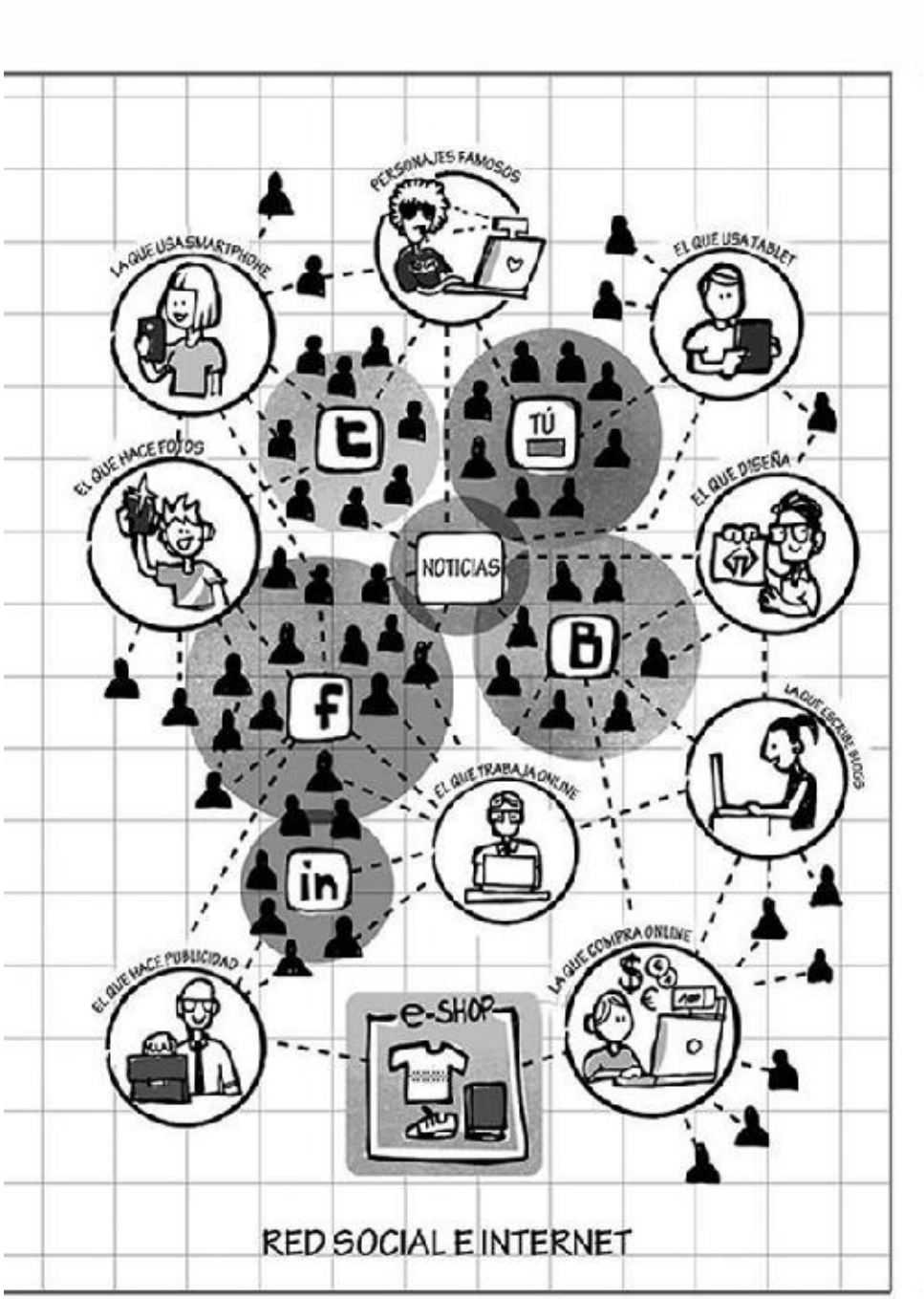
Los sistemas complejos constituyen un campo de la investigación extraordinariamente fascinante: existen por todas partes, no solo en física y química sino también en biología, economía y ciencias sociales.

Para que los comprendas mejor, te pondremos un ejemplo. Cada hormiga puede ejercer distintas funciones: buscar comida y recogerla, construir el hormiguero y mantenerlo limpio, sin que nadie se lo mande. Cada hormiga es un «sistema simple». Sin embargo, una colonia de hormigas, al igual que una colmena, es un sistema bien organizado, es decir, un sistema complejo. Las partes que componen un sistema complejo no están organizadas desde fuera sino que se organizan por su cuenta. Otros ejemplos son: un bosque, los terremotos, el clima, internet, que contiene millones de datos e ideas conectados entre sí, como por lo demás sucede con el sistema nervioso, las células o los circuitos eléctricos.

LOS SISTEMAS COMPLEJOS



EL HORMIGUERO



La matemática de los sistemas complejos ha permitido crear un conjunto de ecuaciones para estudiar, mediante simulaciones efectuadas en el ordenador, fenómenos caóticos en todos los sectores de la ciencia: desde la economía (la marcha de los mercados financieros) hasta la medicina (el desarrollo de un tumor), la psicología (el nacimiento de una enfermedad del comportamiento), la

meteorología (las previsiones del tiempo), la criminología (el perfil de un asesino en serie). En los próximos cincuenta años será justamente la meteorología el área en la que se realizarán los mayores y más interesantes descubrimientos, gracias al estudio de los sistemas complejos. La meteorología es tal vez el sistema más complejo de todos, el mayor desafío para los matemáticos del futuro. Entender todas las variables del sistema atmosférico, del terreno, del agua o del hielo que están debajo, del depósito de energía solar, de la química y la física de los gases que componen el aire, por no hablar de acontecimientos imprevistos o catastróficos como tempestades de arena o erupciones volcánicas, es todavía hoy casi imposible. Lo lograremos en un futuro cercano, gracias a la matemática de los sistemas complejos, precisamente, pero hay quien dice que predecir el clima es más difícil que controlarlo artificialmente. Y a propósito del control del clima, ¿te gustaría vivir, por ejemplo, en un mundo en el que lloviera solamente de noche, porque así lo ordena un gigantesco ordenador?

¿Podremos prever una inundación?

Los procesos atmosféricos se estudian aplicando las leyes de la física y de la química a escala planetaria, con dificultades añadidas debidas a la variabilidad de los fenómenos locales. Se trata de temporales o corrientes de aire, pero también de fenómenos que se extienden miles de kilómetros y se mantienen estables durante algunos días, como erupciones volcánicas y tempestades de arena. Después hay otros factores que pueden modificar sensiblemente el comportamiento de las perturbaciones: las cordilleras, los lagos y la presencia de amplias zonas boscosas.

Las variables que influyen en el sistema complejo de la meteorología superan toda forma de previsión: una variación infinitamente pequeña hace que el sistema tome un camino completamente distinto. El matemático-meteorólogo Edward Lorenz declaró en 1979: «El batir de las alas de una mariposa en Brasil puede provocar un tornado en Texas». Es decir, hasta el pequeño desplazamiento del aire producido por las alas de una mariposa (porque en Brasil las mariposas tienen las alas grandes) puede propagarse y amplificarse hasta generar

fenómenos de proporciones mucho más amplias, como un tornado.

Para representar la atmósfera en todo momento son necesarios millones de números, y ello ocasiona problemas relacionados con las mediciones. Los instrumentos en tierra son muy precisos, pero las sondas en altura pueden tomar la temperatura con alguna imprecisión.

Con la llegada de los multiprocesadores, es decir, circuitos capaces de realizar muchos cálculos al mismo tiempo, los ordenadores se han hecho cada vez más inteligentes. Utilizando también una mejor instrumentación para tomar los datos atmosféricos, lo que hoy consideramos imprevisible se verá a través de la «pantalla de cristal» de un PC. En un planeta como el nuestro, bellísimo pero marcado por tsunamis y huracanes, por hundimientos, inundaciones y desprendimientos de tierras, por la sequía y la desertificación, lograremos de este modo reducir los daños y sobre todo las muertes. Para cuando regrese Halley, las previsiones del tiempo por fin serán fiables.

Pero nuestro sueño no es solamente este. El desafío que lanzamos, para el próximo paso del cometa, será conseguir modificar, o incluso determinar, las condiciones climáticas en las diversas zonas de la Tierra, mucho más de lo que logramos hacer ya ahora, por ejemplo tratando de impedir las peores granizadas. Aprenderemos a decirle a una masa de nubes que no se disuelva en agua, o si lo hace que sea solamente de noche para no arruinar las excursiones, o al viento que no sople (demasiado) fuerte. El primer paso, el más importante, sin el cual no conseguiremos progresar, es encontrar la solución a las ecuaciones Navier-Stokes.

¿Calcularemos lo imposible con el «cálculo distribuido»?

Los grandes resultados de las matemáticas aplicadas necesitan mucha potencia de cálculo. Hasta hoy se han utilizado ordenadores superpotentes, pero ni siquiera estos bastan ya. Hace unos años, algunos matemáticos tuvieron una idea: ¿por qué no aprovechar las posibilidades de cálculo de millones de propietarios de ordenadores personales esparcidos por el mundo? Se trata de

hacerlos trabajar a todos en el mismo problema, naturalmente asignando a cada uno solo una pequeña parte del cálculo, que tiene que ejecutar en los tiempos muertos. A los voluntarios no se les pide que hagan nada, salvo dejar el ordenador encendido. Cuando el ordenador no está ocupado, va a buscar en los servidores adecuados los datos que esperan para ser elaborados, poniendo en marcha los programas de análisis automático.

La unión hace la fuerza: este es el principio del cálculo distribuido. Como la capacidad de cálculo de los ordenadores sigue aumentando, las posibilidades futuras de este método son cada vez más increíbles. En pequeño, se podría probar con todas las calculadoras de la clase, si encontrásemos la manera de conectarlas entre sí y tuviésemos la habilidad de dividir un problema en trocitos y repartirlos entre todas las calculadoras.

Ya hemos hablado de un programa que se vale de este cálculo distribuido: es SETI@home, un proyecto que continúa activo porque hay muchos que creen en la búsqueda de vida inteligente en el universo, aun cuando todavía no se han obtenido resultados.

Una vez instalado el *software* de SETI@home en el PC, se descargan los datos de los radiotelescopios. Después, aparecerán en la pantalla los resultados del análisis, en forma de gráficos en movimiento con picos coloreados.

También Rosetta@home es un programa distribuido de bioquímica muy solicitado. Es una especie de maxi-videojuego, con unos equipos que se desafían a nivel mundial para llegar a construir nuevas proteínas estables. Con un azúcar en un punto equivocado, por ejemplo, la proteína explota y el jugador es eliminado. Si, por el contrario, se acierta con el enlace justo, uno gana puntos para sí mismo o para su equipo y se crean las proteínas del futuro.

La página *climateprediction.net* está especializada en el estudio del cambio climático y utiliza la potencia del cálculo distribuido para elaborar modelos de clima en la Tierra en los próximos 100 años.

En el campo farmacológico destaca World Community Grid, dedicado a la búsqueda de medicamentos para curar enfermedades tropicales (como el dengue, la fiebre del Nilo y la fiebre amarilla), pero también cánceres infantiles y el sida. Grid consume, por término medio, unos tres millones de horas de cálculo al día.

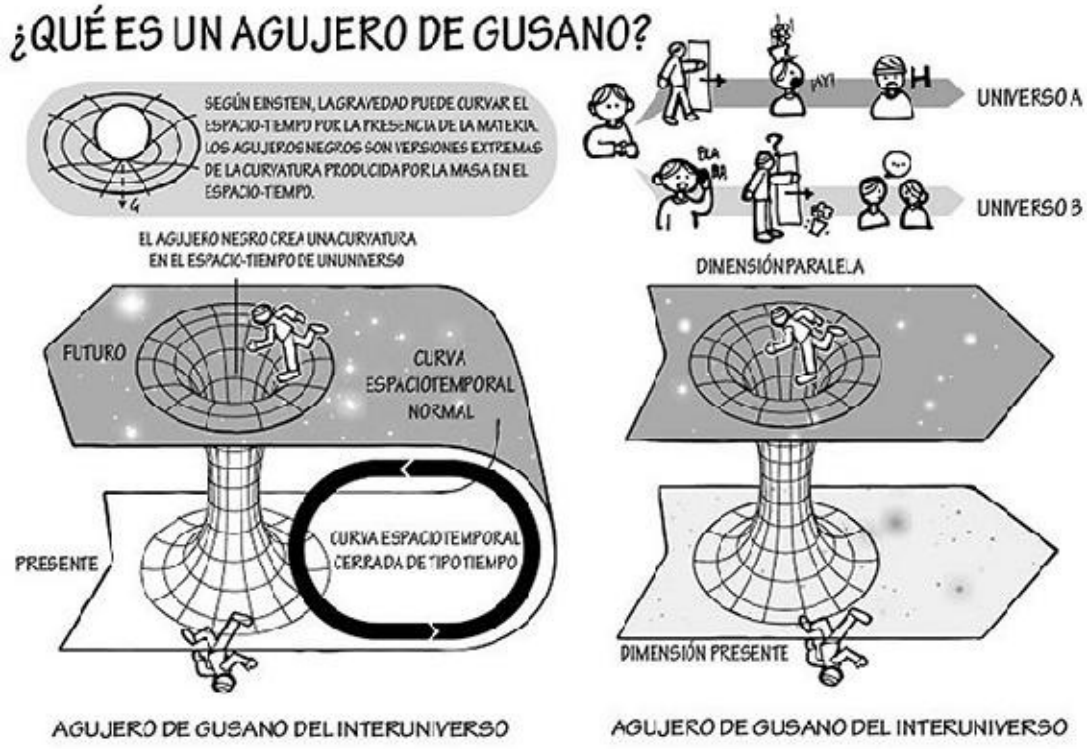
¿Qué puede hacer por nosotros la matemática cuántica?

Será una auténtica revolución, ya anunciada y ahora inminente. La matemática cuántica, que se basa en la rama de la física moderna denominada mecánica cuántica, usa los números influyentes, es decir, números que son influidos por los números que los rodean. Así, el 4 es el resultado de los números que están a su lado, el 5 o el 3, como en una fórmula o en un recuento. Esto sucede porque todos los números de esa fórmula interactúan con los números cercanos, como en el interior de un sistema complejo.

La realidad cuántica no posee las características consideradas «normales», las de la realidad de todos los días. Se basa en condiciones consideradas «fuera de la caja», incluso de la «caja craneana». Pongamos un ejemplo desde «fuera de la cabeza»: tienes que hacer una elección y entonces interviene algo, una llamada telefónica o un accidente de tráfico, que te hace tomar un camino diferente del que habías pensado. Supón que en ese preciso instante tu mundo se divide en dos: un mismo pasado y dos futuros, incluso muy distintos entre sí. Imagina que esto ocurre muchísimas veces y que una miríada de realidades alternativas puebla tu mundo.

Eso es lo que sucede dentro de un ordenador cuántico, capaz de tener en cuenta todas las alternativas: será una revolución copernicana para nuestro concepto mismo de inteligencia artificial. Y tal vez en parte para la inteligencia natural, es decir, la de los principios de funcionamiento de nuestro cerebro. Se pondrán en cuestión los sentidos. El ordenador cuántico podría transformar la relación que concebimos actualmente entre percepción y realidad, proponiéndonos interesantes alternativas. Quizá descubramos que hay mundos y dimensiones paralelos al nuestro. Dadas las infinitas probabilidades del resultado de la matemática cuántica, algunos físicos teóricos sostienen que la estructura de un arbusto con innumerables ramas es similar a la del universo, que se separa en otras tantas versiones paralelas de sí mismo.

Marty McFly, protagonista de la película *Regreso al futuro*, ante esta declaración, tendría una posibilidad más: aparte de viajar al futuro o al pasado con el formidable coche del profesor Brown, llamado Doc, podría decidir pasar un fin de semana en otra dimensión del presente, escogiendo una rama paralela.



¿Se podrá viajar en el tiempo?

Para quien viajara en el espacio a velocidades próximas a la de la luz y luego volviera, el tiempo transcurrido habría sido de unas pocas horas, mientras que en la Tierra podrían haber pasado miles de años. Eso es lo que sucedería si entráramos en un *wormhole* (agujero de gusano), una especie de galería espaciotemporal que serviría de atajo para unir dos puntos distantes. Viajaríamos en el tiempo y en el espacio. Sí, porque huir de estas dos entidades es como conseguir escapar de nuestra propia sombra. Pero, mientras atravesamos un agujero de gusano, se podría generar, a causa de la fluctuación del vacío, un trágico mecanismo de retroalimentación, similar al que da lugar a esos horribles silbidos que se producen en los micrófonos de las salas de conferencias: esas fluctuaciones podrían llegar al pasado a través de la galería y, una vez dentro, viajar en el tiempo y en el espacio hasta el futuro repetidas veces, creando un círculo vicioso que llenaría el túnel de energía en constante aumento. En

semejante situación, el túnel sería destruido. Y si esto ocurriera también nosotros nos desintegraríamos…

Los físicos más serios piensan que viajar en el tiempo no será posible, y nosotros también lo dudamos. Sin embargo, nadie ha logrado demostrar nunca que las leyes de la física prohíban de forma explícita los viajes temporales. Por el contrario, hay quienes han elaborado hipótesis sobre las maneras en que una civilización dotada de ilimitadas capacidades técnicas sería capaz de construir una máquina del tiempo. Son proyectos que superan con mucho nuestros conocimientos teóricos actuales, lo cual convence a muchos expertos de que en el futuro, cuando nuestras capacidades sean aún más precisas, todas estas ideas se revelarán imposibles. Pero tener la esperanza de conocer a nuestro tatarabuelo o de ver cómo serán nuestros descendientes no deja de ser lícito para todos.

¿Qué se podrá hacer con la nanotecnología?

El término «nanotecnología» fue acuñado en 1976 por el profesor Eric Drexler, presidente del Foresight Institute de Estados Unidos, el instituto americano que se ocupa de las previsiones. Drexler la define como «una tecnología a nivel molecular que se podrá permitir poner todos los átomos donde queramos que estén». Esta ciencia necesita instrumentos más potentes que los microscopios, porque tenemos que tratar con los nanómetros, mucho más pequeños que los enanos de Blancanieves: ¡un nanómetro mide la milmillonésima parte de un metro, de modo que es invisible a simple vista! Para que te hagas una idea de los tamaños de los que estamos hablando, te ponemos dos ejemplos: 1 nanómetro = 10 átomos de hidrógeno; 10 nanómetros = 1 proteína.

La nanotecnología, que se halla todavía en una fase inicial, utiliza y aplica métodos y conocimientos de la nanociencia, que se ocupa de objetos de dimensiones infinitesimales, como las moléculas. Mientras que los cuerpos más grandes se ajustan a las leyes de Newton, los más pequeños, inferiores a la molécula, siguen una física más moderna, la cuántica, que describe mejor la realidad pequeñísima.

El objetivo es construir dispositivos y máquinas a nivel molecular capaces de desarrollar funciones útiles, como la elaboración de informaciones. Las

investigaciones sobre nanotecnología aspiran de hecho a construir átomo por átomo, molécula por molécula, máquinas microscópicas capaces de realizar un trabajo preciso en tres sectores de investigación principal: la nanoelectrónica, para crear ordenadores más potentes con prestaciones elevadas, idóneos para la vida doméstica e industrial; la nanobiología, utilizada en el sector médico y sanitario para producir biosensores, biomateriales y máquinas para el tratamiento de las enfermedades; y los nanomateriales, que poseen propiedades especiales derivadas de las dimensiones a nanoescala.

La nanotecnología tendrá aplicaciones médicas para modificar algunas partes de nuestro cuerpo, microscópicas pero importantísimas, pero también podría servir para construir un ser humano a partir de un montoncito de moléculas.

¿El carbono será un ladrillo para construir el futuro?

El carbono está desde siempre en el centro de todo. Es el elemento base de la vida, se encuentra dentro de nosotros, pero también, por ejemplo, en la madera, que se transforma precisamente en carbón, o en sitios como la barrera de coral o los Dolomitas (que son una especie de antigua barrera de coral), combinado con el calcio. En 1950, gracias a la física, se descubrió su estabilidad nuclear, es decir, las propiedades del núcleo que hacen que el carbono sea tan especial y mejor que los demás elementos como base para la vida. Un siglo antes, gracias a lo que entonces era la química puntera, se pudo admirar la belleza del hexágono del benceno (C_6H_6), en el cual seis átomos de carbono se unen en un anillo perfecto, con el último unido al primero. Más adelante se descubrió la habilidad del carbono para organizarse en enlaces estables en cadenas de moléculas largas y complejas como el plástico, inventado por Giulio Natta, premio Nobel de Química, que abrió el camino a una verdadera revolución en nuestra vida cotidiana. Cada vez que echas mano de una botella de plástico, por ejemplo, tocas el tereftalato de polietileno, en síntesis PET ($C_{10}H_8O_{4)n}$.

En 1985 se descubrió el fulereno, una gigantesca molécula estable, compuesta por sesenta átomos de carbono organizados en una estructura espacial

casi esférica, de «icosaedro truncado». Parece un balón de fútbol, de los que tienen las piezas de colores.

En 1991 llegaron de Japón los nanotubos, hechos de finas hojas de carbono purísimo, en formas cilíndricas y dotados de una excepcional robustez mecánica en relación con su peso. Las posibles aplicaciones de los nanotubos van desde la puesta a punto de nuevos circuitos electrónicos en miniatura, muy veloces, a la realización de nanomáquinas útiles en la construcción de modelos atómicos de moléculas, compuestos por muchos átomos organizados en cadenas complejas.

Pero lo bueno vendrá cuando se apliquen a fondo las posibilidades de la nanotecnología a las grandes estructuras químicas que son posibles con el carbono. Se podrían crear moléculas «metalorgánicas» para hacer, por ejemplo, baterías de altísima capacidad de carga, o para nuevas aplicaciones a la medicina.

¿Cómo serán las ciudades del futuro?

Las ciudades se verán transformadas por la revolución digital, es decir, por el uso cada vez más amplio y sofisticado de ordenadores en la vida cotidiana. Todo brillará porque estará cubierto de un polvo «inteligente», formado por pequeñísimas calculadoras. Nuevas geometrías, rascacielos de extrañas formas, se levantarán del suelo desafiando al cielo, revestidos de una capa de elementos digitales, es decir, de sensores capaces de medir con exactitud parámetros como la temperatura, la humedad o la insolación, y conectados en red.

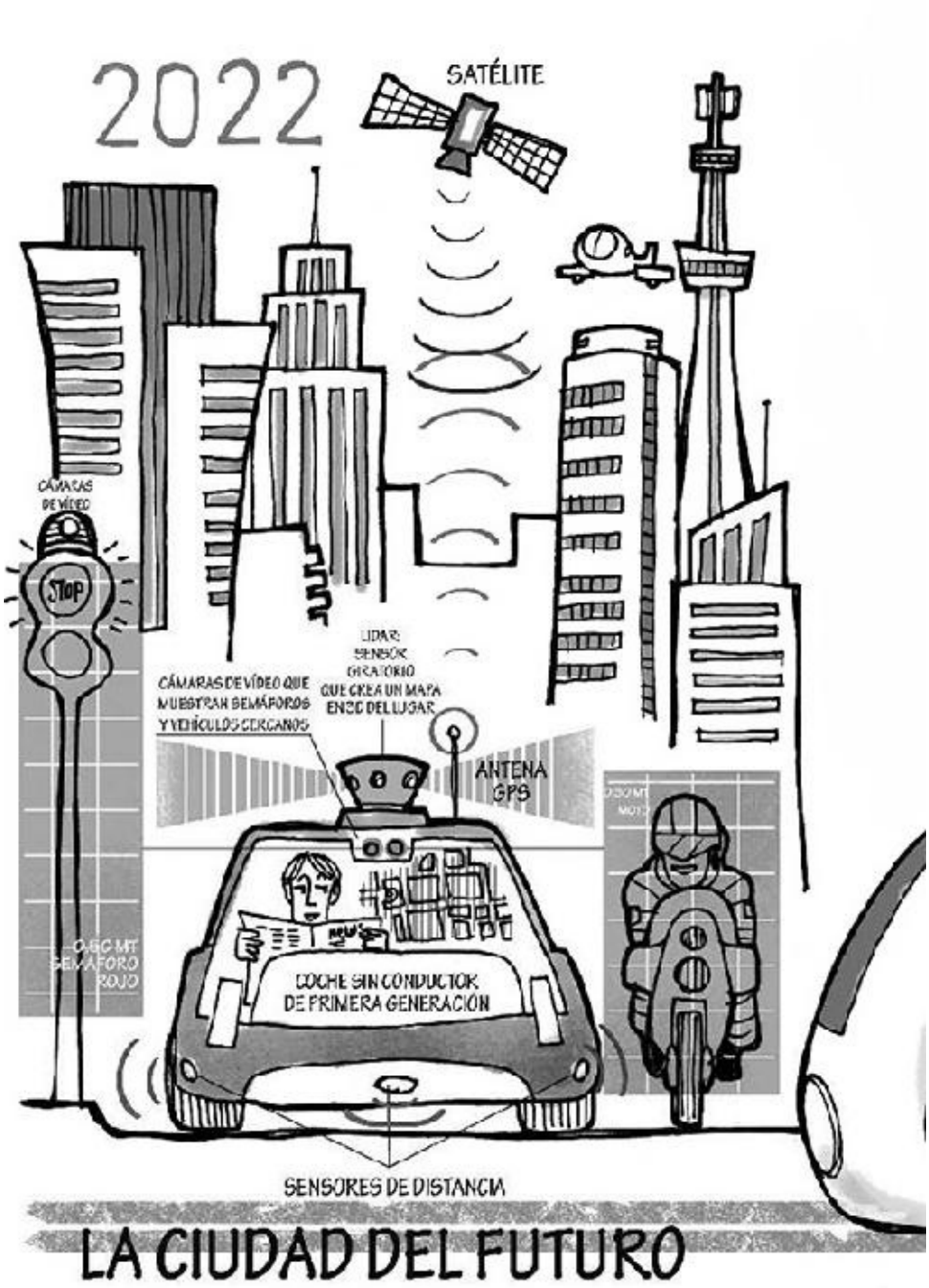
Los áticos se transformarán en pequeños barrios que se elevarán en lo alto de una torre-seta. Los centros comerciales se convertirán en refinerías virtuales de sueños. Bastará con encender el ordenador y hacer unos cuantos clics: te llegará todo a casa —y no solamente los comestibles— con servicio exprés en menos de una hora, incluyendo un nuevo robot de oferta que será capaz hasta de prever tus deseos. Muy distinto del repartidor de *pizzas* en moto…

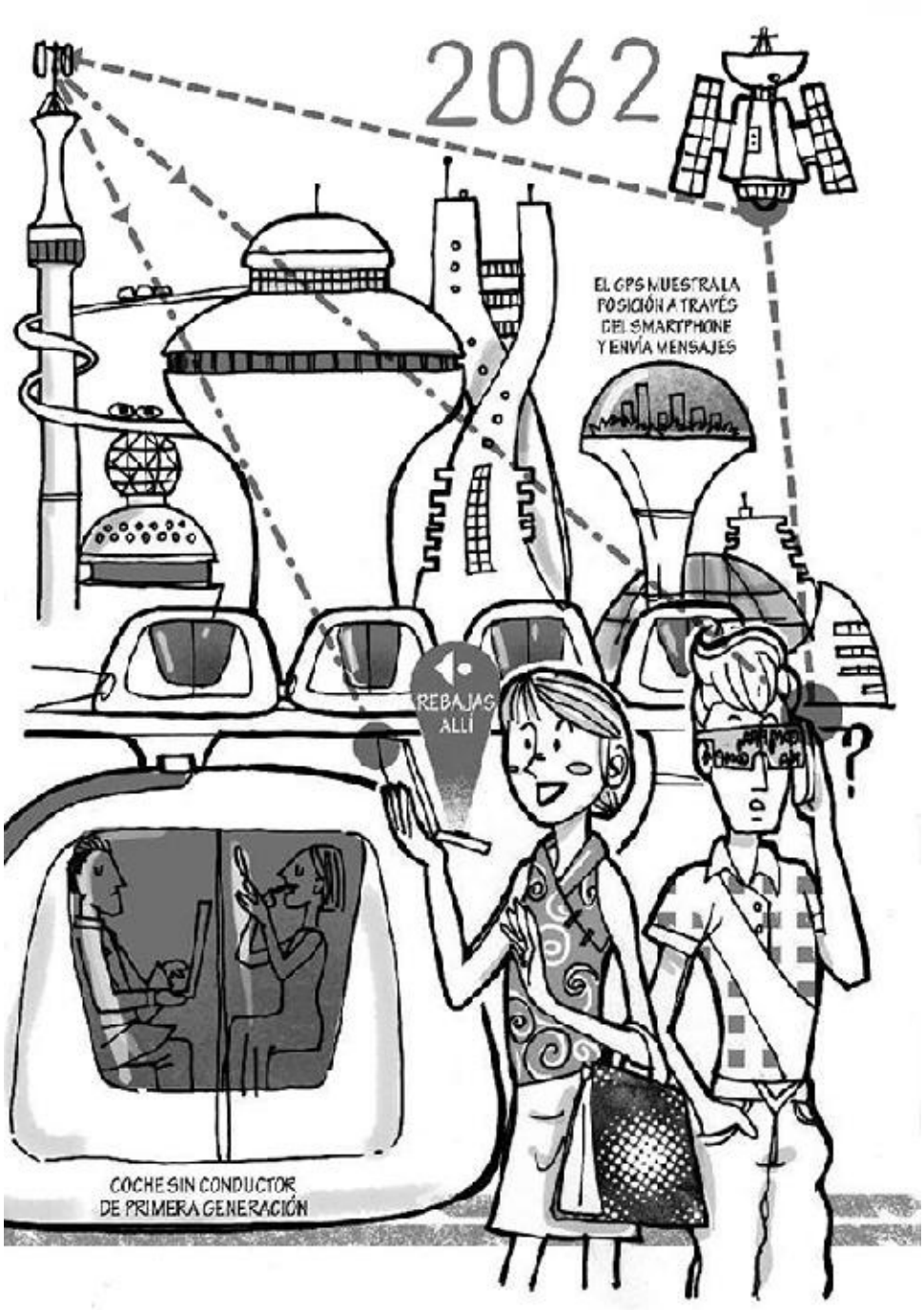
Las cámaras de vídeo, los microcontroladores y los sensores estarán cada vez más presentes para gestionar las infraestructuras, realizar controles de seguridad, optimizar los transportes o hacer seguimientos de las condiciones ambientales.

La nanotecnología permitirá miniaturizar un número cada vez mayor de

componentes electrónicos que, de manera capilarizada, controlarán nuestra vida; por ejemplo, no estarás nunca fuera del alcance de un servicio de urgencias, pero al mismo tiempo siempre habrá alguien que sepa dónde estas…

Si te gusta «Gran Hermano», estarás encantado de saber que a todos nos harán un seguimiento similar; solo nos queda esperar que no haya cámaras de vídeo en el cuarto de baño. Puede que alguien sufra por la falta de privacidad ocasionada por el control capilarizado que se derivará de los servicios ofrecidos. Pero si te paras a pensarlo, actualmente ya estamos controlados por Facebook, que difunde nuestras noticias en un microsegundo; por el sistema electrónico de cobro, que nos registra cada vez que pasamos por una cabina de peaje; por el cajero automático, que controla nuestros ingresos y gastos; por los teléfonos móviles, que registran todos los números a los que llamamos, los minutos que dura cada conversación y hasta el sitio en el que estamos. Sin darnos cuenta, estamos perdiendo un poco de nuestra libertad, acostumbrándonos a un control permanente, difuso e invasivo. El siguiente paso, breve e indoloro, podría ser llevarnos a una esclavitud tecnológica que crea dependencia, como una droga. En parte, es una dependencia que experimentamos ya ahora (mira lo que pasa con los teléfonos móviles y el correo electrónico), y es el precio que hay que pagar por una vida cada vez más segura y cada vez más productiva.


2022
SATÉLITE
CÁMARAS DE VÍDEO
STOP
LIDAR: SENSOR GIRATORIO QUE CREA UN MAPA ENTO DEL LUGAR
CÁMARAS DE VÍDEO QUE MUESTRAN SEMÁFOROS Y VEHÍCULOS CERCANOS
ANTENA GPS
0,6C MT SEMÁFORO ROJO
COCHE SIN CONDUCTOR DE PRIMERA GENERACIÓN
SENSORES DE DISTANCIA
LA CIUDAD DEL FUTURO



¿Qué vehículos conduciremos?

Optimizar los vehículos, públicos y privados, será el objetivo de Halley 2062. ¿Has pensado alguna vez en un coche sin conductor? Los coches del futuro estarán equipados con medidores de velocidad y posición, tal vez con el nuevo sistema GPS del proyecto Galileo, de la Agencia Espacial Europea. Se trata de un proyecto que facilitará la exacta localización de los coches que cuenten con receptores (o hasta las bicicletas y tu mochila) en cualquier lugar de la superficie de la Tierra. Habrá precisos sensores de proximidad de obstáculos y otros vehículos con rumbo de colisión, un ordenador central dotado de mapas precisos, normas de circulación adaptadas a todos los países y otras tecnologías que nos permitirán subir al coche sin preocuparnos de la conducción.

Hoy metemos los datos en el navegador y, con las manos en el volante y el pie en el acelerador, seguimos las indicaciones de una voz, casi siempre femenina.

Mañana, mediante un orden verbal, estableceremos el destino: «Llévame a casa», o «Por la Nacional 24», y, repantigados en una cómoda butaca superequipada con bebidas, palomitas y chocolatinas, podremos dedicarnos a leer un libro o echar una siesta. Y cuando lleguemos a nuestro destino, a la velocidad justa y sin incidentes, ni siquiera tendremos que pagar la carrera. Bajaremos relajados del automóvil (que sabrá aparcarse solo). Una ventaja podría ser la posibilidad de tener permiso de conducir muy pronto, y es que sería el coche, mejor dicho, su ordenador, el que conduciría.

Pero si quieres sentir la vibración del coche en las manos no te preocupes; cuando seas mayor podrás seguir haciéndolo, bastará con seleccionar la conducción manual y el cambio deportivo.

La mayoría de los vehículos terrestres serán de propulsión eléctrica, dada la eficiencia que habremos alcanzado en la producción de este tipo de energía gracias a la geotermia profunda.

LA ROBÓTICA

¿Qué es la robótica?

La palabra «robot» procede del checo *robota* (derivado del ruso *rabota*) y significa «trabajo pesado». El término inglés *robotics* aparece por primera vez en un relato de Isaac Asimov, quien inventó las tres leyes de la robótica, de las que habrás oído hablar en las películas *Yo, robot* y *El hombre bicentenario*. De todos modos aquí las tienes; son muy sencillas:

1. Un robot no puede causar daño a un ser humano ni puede permitir que, por su falta de intervención, un ser humano reciba daño.
2. Un robot debe obedecer las órdenes de los seres humanos, siempre que esas órdenes no contravengan la Primera Ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia, siempre que esta autodefensa no vaya en contra de la Primera ni de la Segunda Ley.

Sin embargo, la robótica no es una ficción, sino una ciencia que estudia los comportamientos de los seres inteligentes y trata de desarrollar métodos que permitan a una máquina, dotada de dispositivos para sentir e interactuar con el medio circundante, realizar tareas específicas.

Es una disciplina nacida para aliviar al hombre de la ejecución de actividades fatigosas, repetitivas y peligrosas. Aunque es una especialización de la ingeniería, confluyen en ella disciplinas de diversa naturaleza: psicología, biología, física, electrónica, informática, matemáticas, mecánica.

¿Será un robot el que nos opere del corazón «por el ojo de la cerradura»?

Posiblemente algún día alguno de vosotros seréis cirujanos. Debes saber que la mayor parte de las operaciones de corazón tradicionales se realizan mediante una incisión llamada «esternotomía longitudinal mediana», cuya consecuencia es una cicatriz de unos 25 centímetros en el centro del tórax. Esta incisión en el esternón (efectuada con una sierra especial) permite tener una visión completa del campo operatorio y acceso quirúrgico a todo el corazón y a los grandes vasos sanguíneos próximos a él. Las principales desventajas son la estética (una fea cicatriz en medio del pecho) y el riesgo (pequeño, pero no nulo) de infección o de que el esternón no se cure del todo. Además, en una intervención tradicional hay que parar el corazón y mantener con vida al paciente por medio de la bomba de circulación extracorpórea (también denominado «máquina corazón-pulmón») que, sin embargo, no reproduce de una manera perfecta la función de los órganos, por lo cual pueden presentarse complicaciones, aunque sean remotas.

La investigación de nuevas técnicas operatorias menos invasivas es apoyada tanto por las exigencias de los enfermos como por la industria, que prevé un enorme desarrollo en la producción de nuevos accesorios e instrumentos quirúrgicos.

La cirugía robótica es una técnica revolucionaria que, gracias a una visión tridimensional, hace posible una intervención realizada mientras el corazón está latiendo, es decir, sin detener el latido cardiaco, a través de un pequeño agujero de 3 centímetros en el tórax. El aparato está compuesto por un robot operativo con brazos mecánicos y una cámara de vídeo tridimensional. El cirujano está físicamente a unos metros de distancia del campo operatorio, sentado delante de una consola, dotada de un monitor, desde la cual dirige el movimiento de los brazos robóticos. A dichos brazos van fijados los instrumentos quirúrgicos, de un diámetro de 5 a 12 milímetros, que hay que introducir en el cuerpo del paciente.

Se puede formular la hipótesis de que esta técnica, una vez perfeccionada, permitirá operar a distancias cada vez mayores, consolidando una nueva especialidad, la telemedicina. Si pensamos que hoy, desde la Tierra, es posible accionar robots enviados a la Luna o a otros planetas, no es difícil creer que

llegue a ser habitual operar desde otra parte del planeta, poniendo a disposición de todos los mejores y más especializados profesionales. Por ejemplo, con la telemedicina podría «operar» en el hospital de Kinshasa, en la República Democrática del Congo, el titular de la cátedra de Cirugía Cardiaca de la universidad americana más prestigiosa, la de Harvard.

Estas intervenciones, denominadas «por el ojo de la cerradura», reemplazarán los medios tradicionales no solamente en cardiología sino en toda la cirugía.

¿Es verdad que por nuestras arterias viajarán nanorrobots?

Tus padres recordarán sin duda la película de ciencia-ficción *Viaje alucinante*, de Richard Fleischer, estrenada en 1966. En ella un científico que ha perfeccionado el principio de la miniaturización de objetos y personas sufre un atentado y corre peligro de morir. Le inducen un coma y es sometido a una operación que se vale de las técnicas que él mismo ha puesto a punto. Un equipo de científicos es miniaturizado en un sumergible e inyectado en el cuerpo del enfermo para curarlo.

En el transcurso de medio siglo, la ciencia-ficción puede hacerse realidad. Hoy en día, gracias a la nanotecnología, se podrán construir nanorrobots «vectores» (es decir, portadores) que, inyectados en la sangre, transporten medicamentos a su destino, o sea a un órgano determinado, y en la cantidad justa.

Imagínate que tienes que atacar un tumor por requerimiento terapéutico. Aparte de la cirugía, se utilizan dos terapias principales: la quimioterapia y la radioterapia. La quimioterapia se basa en un complejo químico tóxico compuesto por elementos pesados como el platino, que tienen la capacidad de romper los enlaces entre proteínas, impedir la reproducción de las células y causarles la muerte. Sin embargo, estos compuestos (por ejemplo, el isómero cisplatino) no pueden distinguir las células cancerosas de las sanas y atacan indiscriminadamente a todas las que se encuentran. Por este motivo, una persona

sometida a este tratamiento se siente mal, tiene náuseas, vomita y pierde el pelo. Con el fin de preservar las células sanas deberemos utilizar nanovectores para transportar el «veneno» (la palabra «fármaco» viene del griego y significa también «veneno») directamente al sitio, y con el auxilio de nanotubos capaces de liberar la «cantidad exacta» de él, lograremos tratar exclusivamente la parte afectada.

Lo mismo se puede decir de la radioterapia, que utiliza isótopos radiactivos, por ejemplo el yodo 131, los cuales emiten unas radiaciones que matan las células. Igualmente en este caso, transportado y conducido al interior de la zona cancerígena, el isótopo radiactivo permitiría destruir la masa tumoral sin dañar las células de alrededor, todavía sanas.

Los antiinflamatorios, los corticosteroides, los antibióticos y todos los demás medicamentos del comercio pronto subirán a bordo de nanorrobots vectores. Se garantiza la entrega a todas las partes enfermas del cuerpo, evitando los efectos secundarios y la obligación de leer atentamente las advertencias.

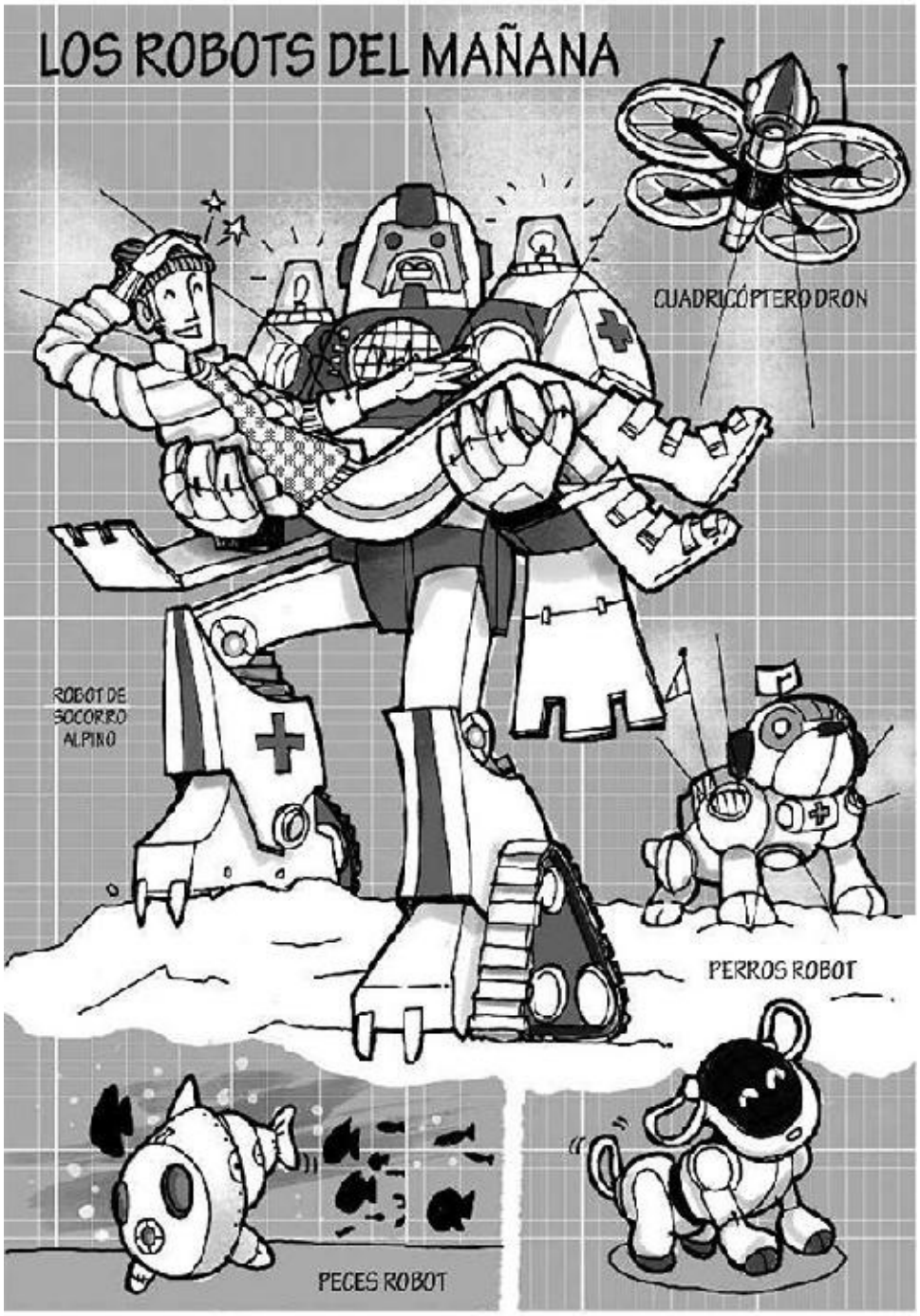
Llega el robot de socorro. Pero ¿existe en realidad?

Es invierno y está nevando. ¡Qué ganas de esquiar tenemos! Ahora ya lo hacemos muy bien, y alguno de nosotros, que quizá vive en la montaña, incluso ha aprendido a esquiar antes que a andar. Al principio con las piernas separadas, luego con los esquíes juntos, ahora nos tienta salirnos de la pista.

Es el último descenso. Dentro de un cuarto de hora cierran las instalaciones. Mientras descendemos, nos sentimos atraídos por una escarpada vertiente lateral que termina en un canalón estrecho y helado. Nos sentimos seguros y, mientras nuestros compañeros siguen adelante, nosotros, sin molestar a nadie, nos deslizamos hacia la derecha hasta desaparecer más allá de la pista, entre salpicaduras de nieve fresca. Vemos una cuneta delante de nosotros, perfecta para un salto. Nos sentimos libres y volamos como pájaros a dos metros del suelo. Un estremecimiento nos recorre la espalda. Pero algo imprevisto nos estropea el subidón de adrenalina. Rodamos montaña abajo dentro de una nube

blanca. Un dolor atroz nos golpea la pierna. La caída se nos hace interminable. Después todo termina, menos el dolor. Tratamos de pedir ayuda, pero no nos sale la voz. Tenemos la boca llena de nieve, que nos empieza a pesar también sobre el tórax. Encima de nosotros no hay más que blanco. La respiración es cada vez más lenta y fatigosa. Tal vez es el fin…

Si esto sucediera hoy, sería en efecto el fin, pero en el futuro las cosas podrían cambiar. La idea es construir robots que puedan sustituir al hombre en los primeros auxilios, capaces de llegar a los lugares más peligrosos e inaccesibles. En el caso que acabamos de describir, el personal de socorro alpino llegaría al lugar en helicóptero y el robot bajaría al canalón, que lo primero de todo verificaría nuestra posición exacta con un detector de rayos infrarrojos y excavaría en la nieve hasta encontrarnos. Y todo en tiempos brevísimos. Tras hacer una radiografía precisa, se daría cuenta de que tenemos fracturas en el fémur derecho y en la tibia izquierda, nos suministraría un analgésico y nos entablillaría las piernas con un tutor ortopédico de carbono. Además de las primeras curas, se ocuparía de nuestro estado psicológico tranquilizándonos, quizá poniéndonos en contacto verbal con los miembros del equipo de socorro o con nuestros padres hasta llegar al hospital más cercano. Desde luego, se necesitará un robot muy evolucionado, en la práctica una combinación de guía alpino electrónico, médico de urgencias y muchas otras cosas. No será fácil de realizar, deberá tener piernas con arpones, cámaras de vídeo con iluminación, brazos fuertes pero delicados que sepan excavar y acariciar, un sistema vocal… Pero la robótica está ya haciendo milagros.



Un robot de este tipo sería utilísimo en los accidentes que se producen en lugares peligrosos como las minas y los pozos, y cuando se oyen lamentos debajo de los escombros tras un terremoto y puede que haya personas inmovilizadas por una viga que les ha caído sobre las piernas. Un robot puede llegar a cualquier parte, mejor aún que un perro; puede llevar medicinas, agua,

asistencia psicológica con luz y teléfono y, con palancas mecánicas adecuadas, liberar el cuerpo de la víctima de esa pesada viga.

¿Podremos llegar a ser como Iron Man?

¿Te acuerdas de Tony Stark? Era un niño prodigio que consiguió entrar en el programa para estudiantes del MIT a la edad de 15 años y fue el mejor de su clase. A los 21 heredó la empresa de su padre, Stark Industries. De fabricante de armas pasó a ser un campeón de la justicia contra el terrorismo internacional. Para lograr su propósito creó un exoesqueleto que, al ponérselo, le dotaba de extraordinarias prestaciones.

La «armadura» que Iron Man hizo famosa se está haciendo realidad poco a poco, hasta tal punto que se está empleando ya en el sector militar. Es un conjunto de sensores, bombas y motores que, realizados sobre el modelo del cuerpo humano, le ayudan a efectuar sus movimientos naturales. Permite una mayor velocidad con una reducción del 50% en el consumo de energía con respecto a la que se exigía, por ejemplo, a un legionario romano.

La utilización principal del exoesqueleto no será para acciones de guerra, sino para ayudar a los soldados que se ocupan de la logística a transportar cargas pesadas en tiempos breves, reduciendo así el riesgo de accidentes. Viene a ser lo que desde la época de Julio César hasta hace pocas décadas se hacía con mulas. Usando este «traje de robot», los ejércitos podrían disminuir el personal de apoyo para reutilizarlo en otros sectores, con gran ahorro global y mayor eficiencia.

Estamos haciendo cosas dificilísimas: hemos aprendido a construir robots voladores, pero todavía no hemos creado un hombre que pueda volar, con el añadido del exoesqueleto o una armadura, como hacía Iron Man. Estamos trabajando en ello o, mejor dicho, numerosos centros de investigación militar, en secreto, están ya muy adelantados. ¡Cuando vuelva el cometa Halley, se quedará sorprendido!

¿Qué puede hacer un robot en un campo de batalla?

La batalla del Somme, en 1916, fue una de las batallas más grandes de la Primera Guerra Mundial y también la más sangrienta, con más de un millón de víctimas entre muertos, heridos y desaparecidos franceses, británicos y alemanes.

Imaginemos lo que habría podido hacer un robot en el campo de batalla. Gracias a sus sensores y cámaras de vídeo, habría localizado y puesto a salvo a los soldados heridos durante el combate, enterrado a los muertos y encontrado a los desaparecidos.

Los robots antiminas existen ya; se mueven sobre orugas, llevan una cámara de vídeo en la cabeza y tienen brazos con pinzas dirigidos a distancia por un artificiero, que de este modo no corre peligro.

Robots de este tipo son dirigidos a distancia por medio de un guante especial que hace posible maniobrarlo con simples gestos de la mano. Para socorrer a los soldados, el robot tendrá que poder levantarlos con sus «brazos» hidráulicos dotados de «manos» capaces de ejecutar trabajos delicados. Gracias a estas características, se podrá utilizar el robot no solamente para operaciones de socorro, sino también para operaciones de vigilancia y reconocimiento, para transportar explosivos y materiales peligrosos (pueden cargar hasta 230 kilos) que deben ser manejados con cuidado, o para desactivar una mina, todo ello sin poner en peligro vidas humanas. En el futuro querremos aumentar las capacidades del robot para que pueda ejecutar instrucciones avanzadas y llevar a cabo operaciones de manera autónoma. Tal vez al final serán también ellos los que libren las batallas. Esperemos, entretanto, que se llegue a comprender lo insensatas que son las guerras, siempre inútiles, ya destruyan carne humana o hierro de robot.

¿Cómo se utilizarán los robots en la guerra?

Hoy en día ya se utilizan robots en la guerra, y se están definiendo muchos prototipos. No tienen nada que ver con una tecnología extraterrestre ni se parecen a superhombres alcanzados por rayos gamma, como Hulk. Aquí, todo es de verdad. Está sucediendo algo importante en la guerra y también en la historia de la humanidad. Las fuerzas armadas de Estados Unidos llegaron a Irak con unos pocos drones (pequeños aviones sin piloto) de reconocimiento; ahora tienen miles y los han potenciado dotándolos de características puramente ofensivas.

Dentro de poco los robots llenarán los campos de batalla, y con el paso del tiempo, mucho antes de Halley, llegarán a ser mucho más poderosos que en la actualidad. Esto significa que lo que leíamos en los relatos de ciencia-ficción ha pasado a ser tema de discusión en las salas del poder, la Casa Blanca en Estados Unidos o el Kremlin en Rusia. La revolución robótica inminente forjará una nueva generación de robots.

Los historiadores que estudien esta época dirán que se produjo una revolución en la guerra comparable a la invención de la bomba atómica. Con el advenimiento de esta última, un arma demasiado potente para emplearla, se esperaba llegar al final de las guerras, pero por desgracia no ha sido así. También el uso de robots podría conducir al final de los conflictos armados, demostrando su inutilidad y el derroche de recursos que suponen. Esperemos que esta vez vaya de veras.

Seguramente llegaremos por lo menos a preservar las vidas de los soldados-escritorio, que combatirán delante de un ordenador. Sin embargo, lamentablemente, no se trata de un videojuego: los otros, los denominados enemigos, que no tienen armas sofisticadas, seguirán muriendo, a veces por causa de los drones. Y seguirá habiendo solamente odio y violencia por una parte y por otra.

Si además los drones, cada vez más sofisticados y peligrosos, son utilizados no solo bajo el control de un Estado sino también por el terrorismo internacional, las consecuencias pueden ser devastadoras. Por lo que se refiere a las guerras, la única posibilidad de mejora efectiva sigue siendo eliminarlas y, si en estos momentos parece un sueño, de aquí al regreso del cometa podríamos tratar de alcanzar ese objetivo reduciendo la ignorancia, en la cual tiene su origen la violencia racial y religiosa, y presionando a aquellos que obtienen provecho de la guerra, ya sea político o económico.

¿Quién sabe dónde?

Los programas de televisión como aquel famoso ¿*Quién sabe dónde*?, que tienen como fin encontrar a personas desaparecidas, pueden experimentar pronto una revolución gracias al uso de un miniavión espía que, camuflado como un juguete volador, cuenta con extraordinarias posibilidades y podrá localizar incluso a quien no lo desee en cualquier parte del mundo: en pleno desierto (fácil) o en un estadio de fútbol (dificilísimo).

Los miniaviones serán de gran ayuda también para los agentes secretos y los espías, colaborando con ellos en los trabajos más sucios, es decir, peligrosos o ilegales. Si un criminal o un terrorista viera a James Bond sobrevolar la ciudad en la que se encuentra se alarmaría y se las arreglaría para desaparecer, pero un avión de juguete haciendo acrobacias sobre su cabeza lo dejaría indiferente. Ese juguete, sin embargo, lo habría identificado y quizá, mediante análisis cerebrales a distancia, habría descodificado su intención, pillándolo con las manos en la masa incluso antes de meterlas: le bastaría con haberlo pensado.

Gracias a las posibilidades de identificación a distancia, estos miniespías serán asimismo útiles en caso de secuestro de personas, porque lograrán encontrar a los prisioneros dondequiera que estén. La otra cara de la moneda: cuando estén en servicio ya no podremos decir: «¡Me voy de casa! Ya no tendréis noticias de mí», porque, apenas hayamos recorrido unos pocos kilómetros, seremos interceptados de inmediato.

¿Has oído hablar alguna vez de los cuadricópteros?

La futura generación de robots aéreos apuntará sobre todo a los cuadricópteros, pequeños helicópteros diseñados por un consorcio aeronáutico europeo. Se llaman así porque tienen cuatro hélices, además de brazos mecánicos y «manos inteligentes». Está en construcción el brazo que permitirá a los cuadricópteros manipular con gran precisión incluso objetos muy pesados, además de nuevos

sensores y programas capaces de guiar el vuelo del robot. La idea es que estos nuevos aparatos aéreos puedan llevar a cabo tareas arriesgadas como el mantenimiento de los cables de alta tensión, o salvar a personas de edificios en llamas.

Otro proyecto interesante para el futuro de la robótica aeronáutica es un pequeño vehículo de ala rotatoria, teledirigido por un técnico que interactúa a distancia con el robot de manera «intuitiva»: por medio de un *joystick* y de gafas y guantes electrónicos, lo transforma en una auténtica «mano voladora», útil en diversos ámbitos industriales y civiles.

En la Escuela Politécnica Federal de Zúrich se ha realizado un experimento que ha dejado a todos boquiabiertos: una pareja de cuadricópteros fue capaz de «pelotear», es decir, de intercambiar golpes de tenis, con una precisión y una atención casi humanas. Los dos robots, dotados cada uno de cuatro hélices y de una raqueta, se movieron con total autonomía. Monitorizando su vuelo y la trayectoria de la pelota por medio de un sistema de *motion capture*, dos ordenadores fueron capaces de controlar sus movimientos.

En el futuro, seguramente ya no tendremos necesidad de un jugador humano.

¿Puede un robot caminar sobre el agua?

Unos científicos del Instituto de Tecnología de Harbin, en China, han desarrollado un microrrobot que, imitando a ciertos insectos, puede moverse sobre la superficie del agua. ¡No es un milagro! Los insectos que se han tomado como modelo son los de la familia de las zancudas de agua o insectos patinadores, que aprovechan el efecto físico de la tensión superficial del agua para no hundirse. La peculiar velocidad con que estos insectos se desplazan (de ahí su denominación de «patinadores») ha sido otro motivo de inspiración para los investigadores.

El robot-insecto se compone de un cuerpo central que contiene la electrónica y la mecánica de control del movimiento, y cinco patas a cada lado que le permiten «flotar». El movimiento está garantizado por dos micromotores de corriente continua que, por medio de dos «remos» situados en el centro, hacen posible que el robot se mueva en todas las direcciones. El estudio de los

investigadores ha puesto de manifiesto que, entre los numerosos factores que influyen en el movimiento a ras del agua, es indispensable garantizar el correcto ángulo de apoyo de las patas sobre la superficie del líquido.

La aplicación de este tipo de dispositivos podría ser de utilidad en el control de las condiciones del ambiente y especialmente en el análisis de las aguas, pero también en los servicios de espionaje militar del mar y del cielo.

¿Para qué sirven los peces robot?

No siempre los peligros del mar son los causados por los habitantes de las profundidades: tiburones blancos, peces escorpión, monstruos marinos de la mitología como Escila y Caribdis, legendarios pulpos gigantes como el Kraken de Julio Verne o el Leviatán de los salmos bíblicos. Mucho más peligrosas pueden ser las variaciones en las condiciones del ecosistema provocadas por accidente, por ejemplo la rotura de petroleros y el vertido de toneladas de crudo.

Ante tales accidentes, las defensas naturales adquiridas a lo largo de millones de años podrían no ser suficientes para que los peces se pongan a salvo. Con este objetivo, algunos investigadores han creado un pez robot de silicona que contiene en su interior un pequeño chip capaz de imitar los movimientos de un pececito de una manera bastante fiel. Este pequeño ser de goma, simpático como Nemo, ha sido estudiado para que haga de guía de los demás peces y los ponga a salvo, lejos de las manchas de petróleo. Para alcanzar su objetivo, los investigadores observaron el comportamiento de un banco de peces. Llegaron a la conclusión de que, para conseguir la atención de los demás, el guía bate la cola más velozmente. Una vez lograda la atención de sus congéneres, los reúne y los conduce lejos del peligro. Los estudiosos advirtieron que no siempre estos bancos de peces son de una sola especie, sino que con frecuencia están mezclados; un solo pez robot basta para todos.

En el futuro podrá dotarse a los peces robot de una batería que se recargará con el movimiento del agua, lo cual los hará casi eternos, y podrán ser utilizados para alejar a otros peces de situaciones de peligro, como un excesivo acercamiento a las turbinas de una central hidroeléctrica, la contaminación del agua o repentinos cambios de temperatura.

La Universidad de Essex, en Inglaterra, acaba de lanzar al mar un prototipo experimental con sensores químicos especiales para medir la contaminación de los puertos. El futuro de los peces mecánicos ya ha comenzado.

¿Será posible tener un cachorro robot «de compañía»?

Seguro que algunos de vosotros habéis pedido un perro o un gato y os han dicho que no porque «un animal ensucia, y luego hay que ocuparse de él, y cuando nos vamos de vacaciones quién lo cuida…». Pero estas explicaciones «razonables» no te quitan las ganas de tener un bonito cachorro al que mimar y con el que intercambiar miradas de complicidad y jugar. En el mercado hay ya algunos modelos de mascota robot, pero son todavía demasiado «fríos» y torpes. En lo que habrá que centrarse será en los materiales y en la coordinación de los movimientos. El objetivo es fabricar cachorros blanditos, peludos y cálidos, que no tengan solamente capacidades motoras sino una personalidad que los haga únicos. Lo único en lo que se diferenciarán de los gatitos y los perritos será en que no comerán ni harán pis, pero morderán si los tratas mal y te mirarán con ojazos dulces si están contentos. Hay institutos de investigación robótica de Japón y otras partes del mundo trabajando en proyectos como este.

El tamagotchi virtual al que se alimentaba y cuidaba se está transformando en un ser tridimensional que interactúa con los seres humanos, pero luego basta con desactivarlo y se queda en la perrera esperando a que lo vuelvan a encender. Estos animales con circuitos en vez de cerebro e impulsos eléctricos en vez de sangre serán los amigos no solamente de los niños sino de todos, y harán compañía a los ancianos. En algunos hospitales se ha hecho una prueba: la entrega de un perro robot a un paciente en tratamiento ha provocado después de pocas semanas un alivio de la depresión y del sentimiento de soledad en el hospital.

Los perros robot, tan parecidos a los de verdad, podrán ser utilizados de muchas maneras… Prueba tú a imaginar cuáles.

Claro que un perro de verdad, que sabe lo que piensas casi antes de que tú lo

pienses…, ¿tú qué preferirías?

Robotjuegos y hologramas: ¿serán los juegos del futuro?

Las tecnologías que pueden transformar una simple consola de videojuegos en una experiencia en el límite de lo posible están cada vez más cerca. Los objetivos a los que aspiran los fabricantes de videojuegos son una definición gráfica cada vez más elevada, servicios *online* que permitan a varios jugadores conectarse a la vez o descargar nuevos contenidos, pero sobre todo el innovador sistema de control introducido por Nintendo, el Wiimote. Por medio de un sistema de acelerómetros y giróscopos, presente en su interior, y de un dispositivo óptico situado en una de sus extremidades, se puede interactuar con el ordenador. La novedad la da un servicio *online* gratuito gracias al cual se puede desafiar a través de internet a jugadores de todo el mundo.

La participación física además de la intelectual es la característica de las nuevas consolas. Existen incluso juegos que emulan las disciplinas deportivas de una manera tan realista que se acaba tan cansado como después de un duro entrenamiento al aire libre.

Hemos visto los televisores en 3D y ahora jugaremos en 3D, por lo menos para empezar. Los videojuegos se harán cada vez más realistas. Gracias a la evolución de la inteligencia artificial, dispondremos de una total interactividad, hasta el punto de que ya no nos daremos cuenta del límite entre fantasía y realidad.

El colmo serán los juegos holográficos. Imagina que estás en una habitación con tu mando de control, del que salen, con una simple orden verbal, los programas de juego. Lugares misteriosos que nadie conoce, nuevos amigos y terribles enemigos se materializan ante tus ojos. Lo increíble será que podrás entrar en todas las historias que quieras: guerras galácticas, viajes al interior del cuerpo humano, exploraciones de los confines más remotos de nuestro planeta, aventuras en países exóticos entre piratas tradicionales de la isla del tesoro y corsarios espaciales robotizados. Con los ojos holográficos, comenzará el futuro

y tú estarás dentro.

Así pues, una vez encendida la videoconsola, serás catapultado automáticamente al juego por medio de hologramas. No hologramas en los cuales podrías meter la mano, sino figuras que con un simple toque en el cuadro de mandos se mueven y se desplazan delante de ti. Es como si fuesen reales, es decir, como si tuviesen masa y volumen, pero resultan ser solamente reproducciones gráficas.

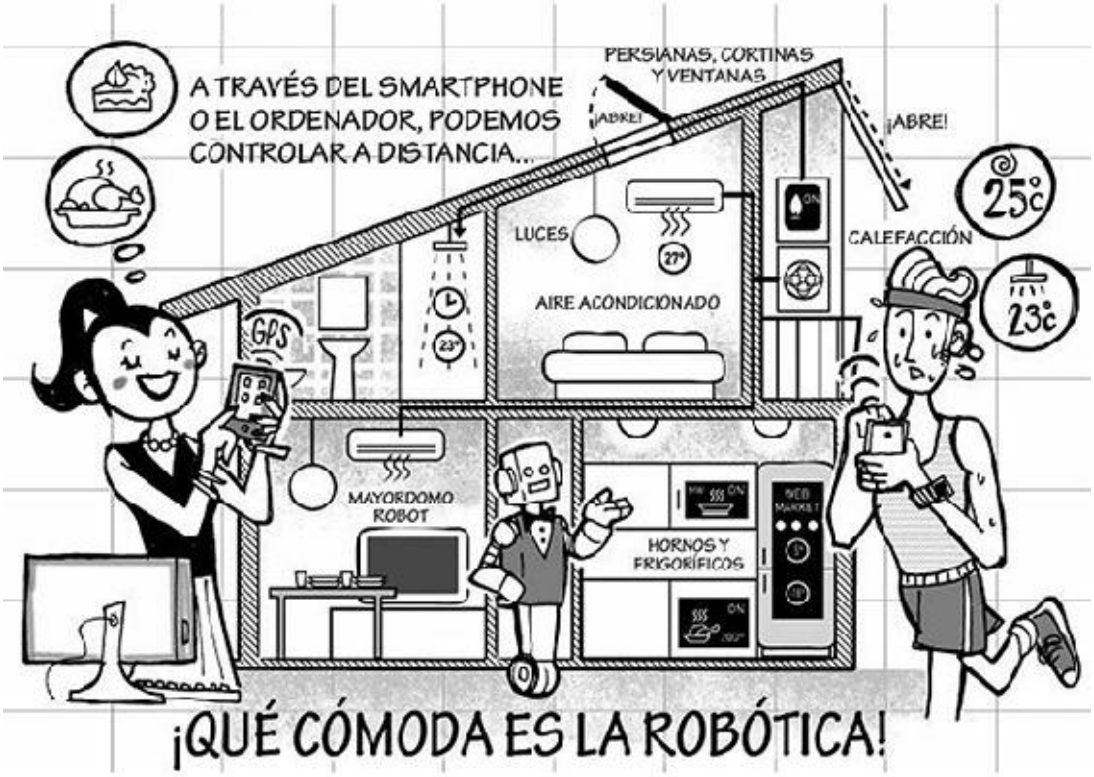
Si quieres que tengan masa, esto es, si quieres que te den un puñetazo en la mandíbula, pero un puñetazo de verdad, tendrás que usar robotjuegos, que saldrán de un paisaje de ciencia-ficción hecho de hologramas. Son los *transformer*, unos robots que se modifican de vez en cuando, adoptando los rasgos de tu dibujo animado favorito.

¿Qué es la domótica?

Calefacción y aire acondicionado que se pueden activar mediante órdenes verbales, dispositivos antirrobo y electrodomésticos controlados a distancia, ventanas y puertas automatizadas, y muchas cosas más.

La domótica nace del encuentro entre la exigencia de mejorar la calidad de vida entre los muros domésticos —pero también en oficinas y espacios públicos — y los avances acontecidos en la informática, la electrónica y la telemática. En nuestras casas vivimos ya hoy rodeados por la electrónica, pero los diversos sistemas no dialogan entre ellos y cada uno se limita a desarrollar unas cuantas funciones elementales. Sin embargo, todos utilizan el lenguaje universal del bit, es decir, el lenguaje digital, que es el mismo de internet y del iPad. De aquí el requerimiento de unos sistemas integrados que puedan ser controlados desde un teléfono inteligente, pero también la exigencia de ahorrar tiempo sin renunciar a las comodidades.

Como el tiempo no se puede estirar, la solución sería hacer varias cosas a la vez, por ejemplo ir al colegio y entretanto cocinar.



Imagínate que vuelves a casa con un hambre de lobo y te encuentras un estupendo asado en el horno número 1, que has programado para que se haga y has previsto que se dore en los últimos cinco minutos para que esté bien curruscante, mientras que el horno número 2 se acaba de abrir para mostrar una fantástica tarta de chocolate. ¡Qué aroma! ¿Lo notas? Y encima el mayordomo Jeeves (o Bautista), tu robot-mayordomo, pone la mesa y trincha el asado, haciendo que todo esté dispuesto justo en el momento en que entras por la puerta.

Pero la domótica es mucho más que eso; controla automáticamente la temperatura y la iluminación, conoce la música que prefieres en el hilo musical, en fin, integra nuestros pensamientos en una casa inteligente.

¿Conoceremos robots especializados en exploración submarina?

Los países del sur de Europa tienen la suerte de estar junto al Mediterráneo, un mar que custodia valiosos restos de civilizaciones del pasado: la fenicia, la lidia, la minoica, la griega, la etrusca, la romana, por citar solamente algunas, pero hay vestigios de grandes civilizaciones a orillas de otros mares y océanos, como el mar de la China y el golfo de México.

Sin embargo, el ser humano no puede vivir en el agua, y por lo tanto la investigación arqueológica submarina es sin duda más compleja que la que se desarrolla en superficie, y es aquí donde interviene la robótica.

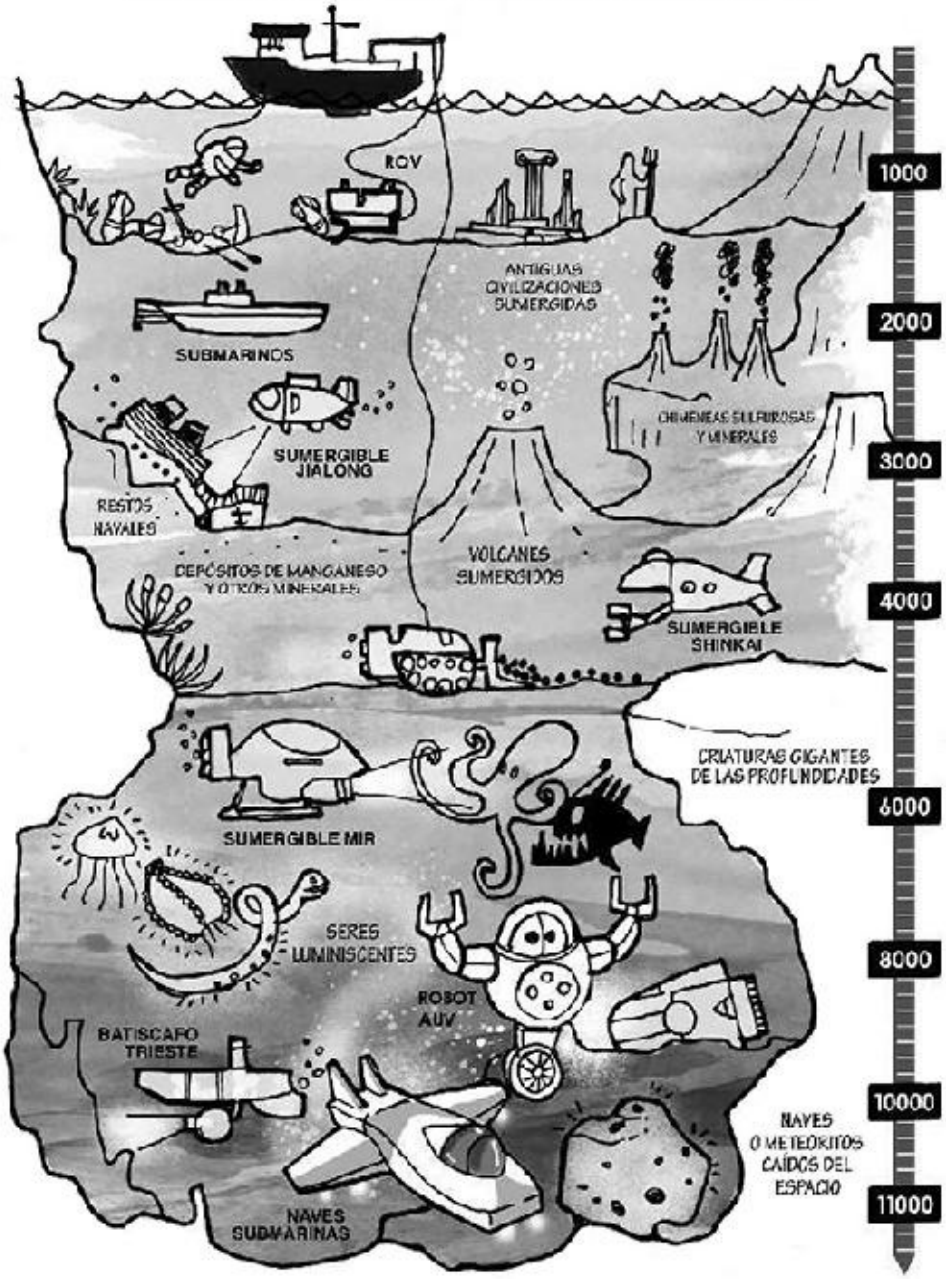
Los robots submarinos se pueden clasificar en dos grandes familias: el Remotely Operated Vehicle (ROV) y el Autonomous Underwater Vehicle (AUV). Los primeros son vehículos guiados a través de un cable umbilical, mientras que los segundos son sumergibles autónomos. En el futuro, el interés se centrará en los avances de los AUV, que ya existen pero se utilizan sobre todo para fines militares y son todavía muy limitados.

Ya a 10 metros de profundidad la presión se duplica con respecto a la superficie, de ahí que la construcción mecánica haya de hacerse utilizando materiales cada vez más resistentes y costosos. Además, si se quiere comunicar con un submarino, es necesario usar el sónar y las ondas acústicas, pues las ondas de radio normales no llegan muy lejos en el agua salada. Pero lo más difícil para un sumergible es la utilización de la energía: para hacer funcionar la electrónica que requiere la navegación y hacer girar los motores y los timones hacen falta unas baterías cuyo peso y dimensiones representan un gran inconveniente para un medio de este género, ya que para poder garantizar la suficiente energía tendrían que pesar muchas toneladas.

En Italia, la idea actual de la ENEA (la agencia nacional para las nuevas tecnologías, la energía y el desarrollo económico sostenible) prevé la planificación y ejecución de un submarino autónomo ligero, de pequeñas dimensiones y bajo coste, pensado para aplicaciones de exploración del fondo marino. Esto supone la instalación a bordo de cámaras de vídeo y sónar para la exploración, además de los instrumentos necesarios para la navegación (acelerómetros, brújula, eventualmente GPS) y la comunicación (de nuevo sónar, radio de ondas ultralargas, las menos absorbidas). Imitando a la naturaleza, en la que encontramos colonias de insectos, bandadas de pájaros, manadas de herbívoros y bancos de peces, la idea es formar una «manada de submarinos robotizados» que vaya en busca de restos y hallazgos arqueológicos: un equipo vencedor. Recordemos que los fondos de todos los océanos representan una parte

de la superficie de nuestro planeta mayor que las tierras emergidas. Sin embargo, están todavía totalmente inexplorados porque hasta ahora han resultado casi inaccesibles, como no sea a la fantasía de Julio Verne. Pero la exploración robótica de los fondos oceánicos, la última exploración posible en nuestro planeta, será una realidad en un futuro cercano. Quién sabe qué fascinantes descubrimientos habrá, entre ellos recursos minerales hasta ahora inesperados e incluso la posibilidad de investigar y recoger una inmensa cantidad de materiales extraterrestres caídos en el mar en forma de meteoritos. Habrá mucho trabajo para los robots submarinos en cuanto estén preparados.

ABISMOS: UNA NUEVA FRONTERA



LOS DESCUBRIMIENTOS QUE CAMBIARÁN EL MUNDO

¿Cómo influyen los descubrimientos científicos en la sociedad?

Los descubrimientos científicos pueden (la historia lo demuestra) cambiar una civilización, desarrollarla, transformarla, a menudo más y mejor que los factores sociales, políticos, económicos o religiosos.

Las «mutaciones tecnológicas» son generadas por los descubrimientos científicos que han pasado de la teoría a la práctica en el laboratorio. Por casualidad o por cálculo, acaban llegando siempre a la sociedad y se convierten en parte integrante de ella.

El ejemplo reciente más llamativo que ha cambiado la vida humana es el teléfono móvil o celular. Ni la pluma ni la máquina de escribir, ni siquiera el automóvil, han llegado nunca a estar tan extendidos a escala mundial, y en tan poco tiempo.

En los próximos cincuenta años habrá otros descubrimientos que transformarán nuestra vida cotidiana, ya sentimos sus vibraciones… como las de un volcán que está a punto de entrar en erupción. A continuación te presentamos una lista de las grandes innovaciones que podrían cambiar nuestra vida.

Vida extraterrestre. ¿Descubriremos que no

estamos solos en el universo?

Si supiéramos que existen otras formas de vida allá afuera, ya nada sería igual, tampoco dentro de nosotros.

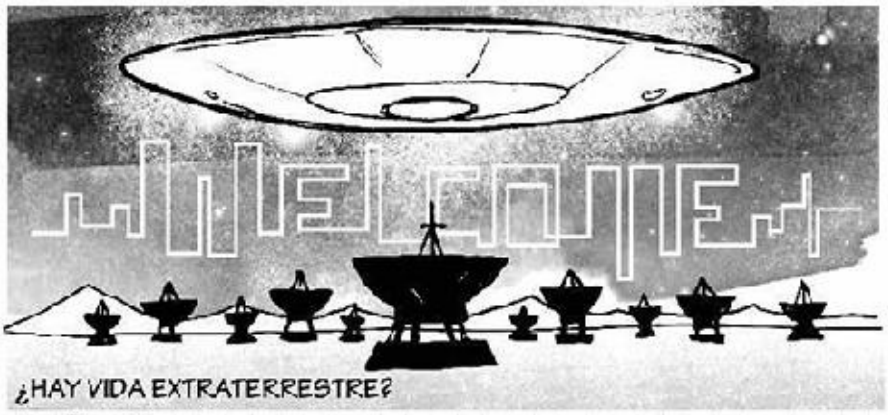
El programa SETI se está haciendo cada vez más interesante gracias a la confirmación de que en torno a otras estrellas como el Sol hay a menudo sistemas planetarios. Pero aunque encontráramos planetas «habitables», es decir, similares a la Tierra hasta el extremo de poder permitir el desarrollo de la vida, ello no querría decir en absoluto que los halláramos poblados por seres inteligentes. Podremos descubrir formas de vida simples, como microbios u hongos, y, por desgracia, no tenemos más remedio que esperar al menos un par de décadas para disponer de la tecnología adecuada para distinguirlas.

No se pueden excluir las formas de vida inteligentes al estilo de Star Trek: vulcanianos, romulianos, caldonianos, zalkonianos. No obstante, dada la falta de pruebas, es mejor imaginarlos en la televisión, o mejor aún, con la televisión apagada.

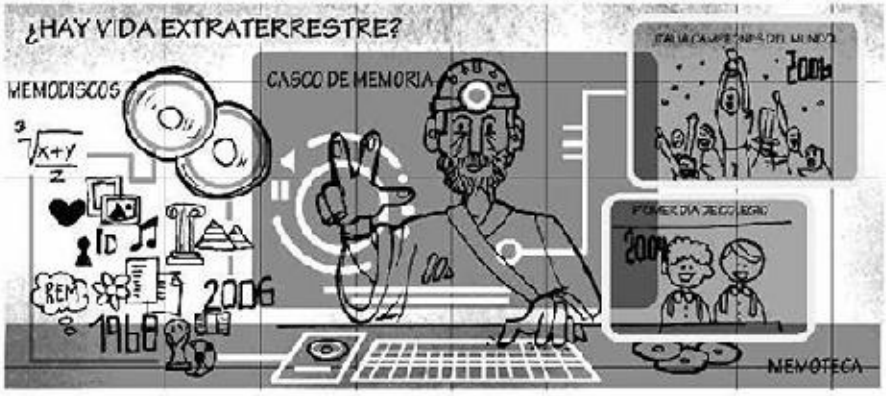
Captar una señal inteligente que proceda del espacio profundo y tener la certeza de que hay vida en un planeta extrasolar es algo que modificaría nuestra manera de ver el mundo. Por otra parte, tenemos que aprender a reconocer el mensaje, lo mismo que cuando se busca una determinada emisora en las radios terrestres, y responder en la misma frecuencia.

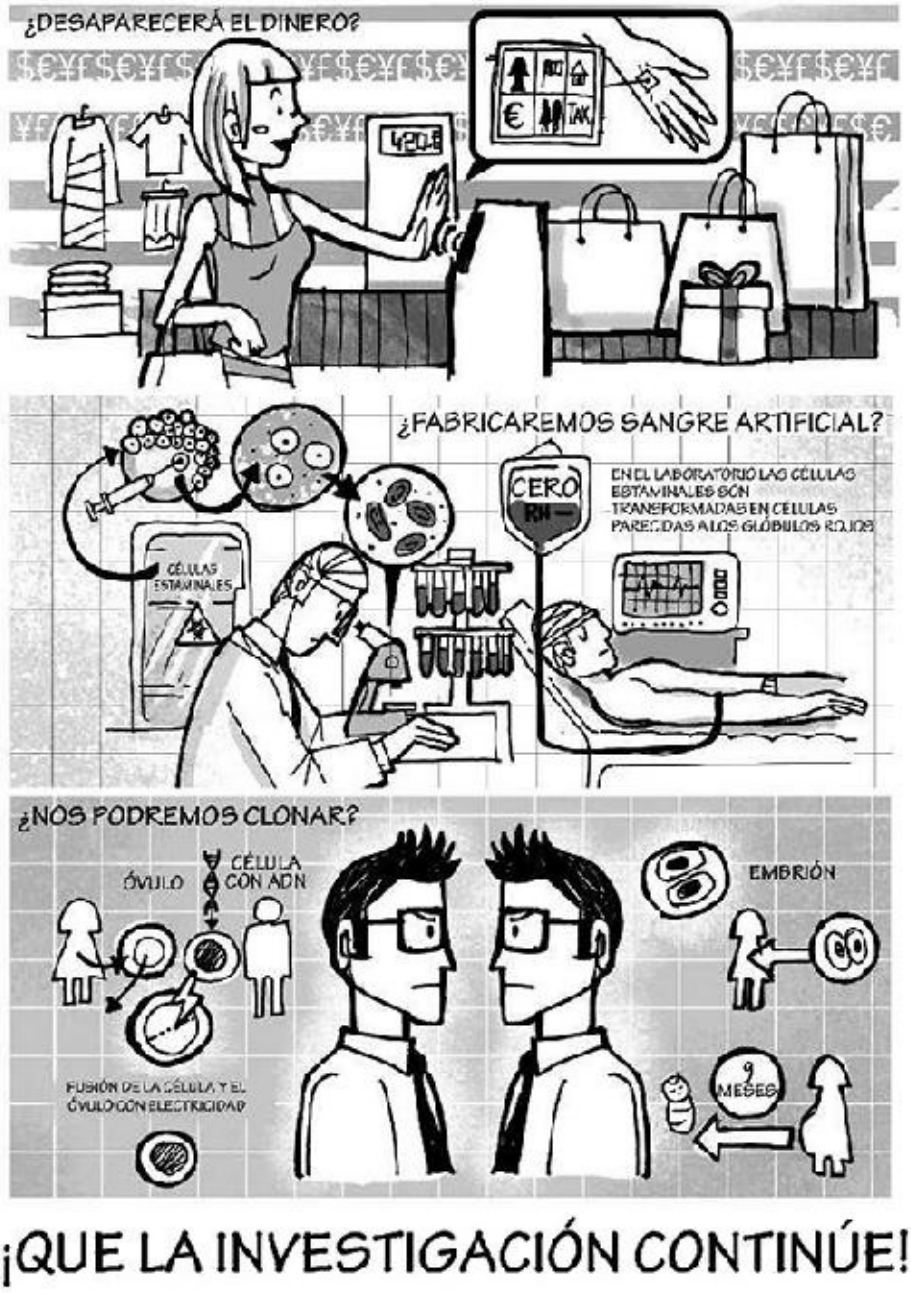
Tras el primer contacto, nacería el deseo de verse. Si luego nos visitaran los extraterrestres (ellos, porque nosotros conseguimos llegar como mucho a Marte), superado el primer momento embarazoso, podemos imaginar un intercambio de ideas y culturas o incluso descubrir que sus intenciones son poco benévolas, como sucede habitualmente en las películas de ciencia-ficción. Lo hemos visto en *La guerra de los mundos, Mars Attacks, Independence Day, Monstruos, Super 8* y muchas otras en las cuales los terrícolas resisten heroicamente a los malvados seres verdes o grises que quieren exterminar a la raza humana.

6 DESCUBRIMIENTOS QUE CAMBIARÁN EL MUNDO









Acontecimientos similares han tenido lugar ya en la Tierra y no queremos que la historia se repita. Los «blancos» se comportaron como extraterrestres conquistadores cuando desembarcaron en el «nuevo mundo», América, y encontraron a los indios a su disposición: hicieron una matanza y acabaron con ellos. Sedientos de tierras y de riquezas, los belicosos blancos, a caballo y

armados de fusiles, lo tuvieron fácil contra poblaciones pacíficas que solamente contaban con arcos y flechas y que no conocían las armas de fuego, el dinero ni la propiedad privada.

En épocas más recientes tuvo lugar otro gran genocidio en los campos de concentración a manos de los nazis, que se consideraban «superiores» y omnipotentes; exterminaron a seis millones de judíos (y a cinco millones de personas entre opositores políticos, discapacitados, homosexuales, gitanos…), destruyendo primero sus almas y luego sus cuerpos. Así escribió Primo Levi en su obra maestra *Si esto es un hombre*:

> No tenemos nada nuestro: nos han quitado las ropas, los zapatos, hasta el cabello […]. Nos quitarán hasta el nombre: y si queremos conservarlo deberemos encontrar en nosotros la fuerza de obrar de tal manera que, detrás del nombre, algo nuestro, algo de lo que hemos sido, permanezca […]. Porque a quien lo ha perdido todo fácilmente le sucede perderse a sí mismo.

El día que tengamos que encontrarnos ante nuevas formas de vida deberemos recordar estas matanzas, que han manchado la historia de la Tierra. Respetar la diversidad en nuestro planeta y en el espacio es signo de cultura y de civilización.

Vida 2.0. ¿Tenemos una alternativa de vida?

Acabamos de recibir una falsa alarma desde California; parecía que habíamos encontrado una bacteria capaz de usar arsénico en vez de fósforo y vivir tan contenta. Habría sido el descubrimiento de una nueva forma de vida en la Tierra, la que llamamos vida 2.0, pero, por el contrario, ha resultado ser un error experimental.

Sigue sin estar excluido que en nuestro planeta haya algo vivo que no esté construido con los ladrillos de la vida 1.0, los famosos elementos CHNOPS, de los que estamos hechos. Lo mismo vale para Marte, Europa, Titán, Encélado, en fin, para todos los lugares en los que parece que la vida puede existir o haber

existido.

Si encontrásemos una forma de vida extraterrestre y lográsemos estudiarla en el laboratorio, tal vez comprenderíamos qué es la vida. Es como estar ante una página escrita en alemán, que la mayor parte de nosotros no comprendemos porque no dominamos esa lengua. Pero si al lado tuviéramos la traducción del mismo texto a nuestro idioma, podríamos utilizarla para empezar a aprenderla.

Con el descubrimiento de una vida 2.0, en la Tierra o en Marte, tendríamos la prueba de que, si en nuestro pequeño Sistema Solar hay por lo menos dos formas de vida diferentes, en una galaxia que contiene miles de millones de sistemas planetarios tendrían que existir otras, todas por descubrir. También en este caso, ya nada sería igual: con la vida 2.0 en la Tierra, por ejemplo, sabríamos que teníamos en casa a los extraterrestres, o, lo que es más inquietante, incluso dentro de nosotros, anidando en un pliegue del estómago o entre los pelillos de la nariz.

Control del clima. ¿Se derretirán los polos en el futuro?

Si no cambiamos el modo de producir energía en nuestro planeta, obtenida hasta ahora de los combustibles fósiles, que lanzan a la atmósfera dióxido de carbono, el gas invernadero aumentará y nuestra Tierra se calentará en exceso.

Desde 1900, los océanos se han elevado 17 centímetros a causa de la fusión del hielo de la Tierra y de la expansión del agua, que al estar más caliente ocupa un mayor volumen. Es únicamente un anticipo de lo que nos espera.

La fusión y el consiguiente deslizamiento al mar de todo el hielo de Groenlandia, por ejemplo, daría lugar a un aumento de 7 metros en el nivel del mar. Y otro de 15 metros vendría de un fenómeno análogo que se produjera en la Antártida. Las zonas costeras habitadas no resistirían una subida del nivel del mar superior a 10 metros.

Hoy en día, millones de personas viven en zonas con una elevación máxima de unos pocos metros sobre el nivel del mar, incluidos los habitantes de ocho de las diez ciudades más grandes del mundo y de todas las megalópolis de los

países en vías de desarrollo. Adiós a los paraísos terrenales como las Maldivas y las Fiyi, pero también a Londres y a Shanghái. El riesgo de catastróficas inundaciones, tempestades y otros desastres parecidos aumenta asimismo con la subida gradual del nivel del mar.

No sabemos cómo nos adaptaremos a un mundo con menos tierras emergidas pero, si la tendencia actual sigue su curso, tendremos un mundo nuevo por descubrir. Quizá aprovechemos las alturas construyendo más casas en la montaña o volvamos al neolítico levantando palafitos. Pero sería mucho más eficaz llegar a prever y a controlar el clima, otro descubrimiento que cambiaría nuestra vida.

Prever los terremotos. ¿Se convertirá Los Ángeles en una isla?

Si no existieran los terremotos no habría vida en la Tierra. Nuestro planeta es una bola cuyo centro está caliente, como hemos visto. Desde allí, el material asciende hacia la superficie y hace que se muevan trozos de la corteza. Las placas continentales, empujadas desde abajo, se mueven (la deriva continental) e inevitablemente acaban chocando. De estos choques surgen las cordilleras, mientras que de las grietas que hay entre las placas sube el calor del núcleo, que genera los volcanes, a menudo alineados en largas cadenas.

El material que asciende de las profundidades renueva la disponibilidad de elementos nutritivos en la superficie. Se puede calcular que si este fenómeno, denominado tectónica de placas, se detuviera aunque solamente fuera 10 millones de años, todas las formas de vida en la superficie de la Tierra se morirían de hambre.

Pero son precisamente estos movimientos del material terrestre los que generan las tensiones y los empujes que están en el origen de los terremotos. Si por un lado la tectónica de placas nos nutre, por otro crea destrucción.

Tanto los científicos como la gente de a pie se esperan desde hace tiempo que un gran terremoto golpee la costa occidental de Estados Unidos.

Lo han llamado el Big One, y, con una magnitud de más de 8 grados en la

escala de Richter, será uno de los terremotos más potentes jamás acontecidos en Estados Unidos. Este terremoto podría desencadenarse como consecuencia de la gran acumulación de energía en la falla de San Andrés, una profunda grieta que recorre California y se encuentra entre la placa continental norteamericana y la placa pacífica, que está debajo del océano Pacífico, que se mueven en sentidos contrarios. La falla tiene una longitud de 1287 kilómetros y pasa cerca de San Francisco y Los Ángeles, de modo que el Big One podría ser muy peligroso para estas ciudades.

Si una gran parte de la falla de San Andrés se rompiese de un solo golpe, el seísmo podría alcanzar una magnitud de 8,2, con un consiguiente deslizamiento de la falla de más de 13 metros. Una sacudida de esta intensidad destruiría carreteras, tuberías, vías de tren y líneas de comunicación.

Pero la de San Andrés no es la única falla que podría moverse. A causa del «efecto mariposa», la actividad sísmica podría desencadenar, aunque mucho más lejos, un terremoto o un tsunami.

Saber que la probabilidad de un terremoto es alta lleva a establecer unas precisas normas antisísmicas para las nuevas construcciones. Los edificios más grandes pueden ser los más seguros: algunos rascacielos californianos han sido construidos para resistir magnitudes de hasta 7,8. Son altísimas estructuras flexibles que «bailan» impulsadas por las sacudidas, ondeando en horizontal y en vertical. Después, cuando se han extinguido las vibraciones de la «música de la Tierra», las estructuras regresan, bien sólidas, a su primitiva posición, en parte gracias a nuevos materiales con memoria que, tras haber sufrido torsiones y empujes, recuperan su forma originaria.

Para realizar estructuras de este tipo se utiliza un amasijo de caucho como el de los neumáticos, una capa de abundante agua, mucho aire, cemento flexible de reciente invención, muchísima madera y potentes amortiguadores, como los que llevan los todoterrenos solo que mucho más grandes.

En Japón, por el contrario, para responder al problema del alojamiento debido a la densidad de población, se construyen las llamadas Dome Houses, viviendas en forma de iglú hechas con densa espuma de poliestireno expandido, válidas alternativas a los actuales refugios y candidatas a convertirse en las viviendas antisísmicas del porvenir.

Su reducido peso, su velocidad de construcción (apenas tres horas), su elevada resistencia a los terremotos, su coste extremadamente bajo y sus propiedades térmicas, altamente eficientes, hacen de estas casas la solución ideal

para el futuro.

Cuando llegue, el Big One podría no ser tan terrible como se teme, gracias a las campañas de información y a las construcciones antisísmicas. Desastres peores pueden derivarse de la actividad sísmica, aunque sea más modesta, si afecta a zonas no preparadas, como sucedió en Haití en 2010, así como en Italia: en L'Aquila en 2009 y en Emilia en 2012.

La máquina de la verdad. ¿Será el fin de las mentiras?

La sociedad de hoy es muy sensible a la mentiras. La mentira reviste a una persona de un traje nuevo que sin embargo no le pertenece, y por lo tanto, antes o después se esfuma, dejando al embustero «desnudo». Se dice que «antes se pilla a un mentiroso que a un cojo» precisamente porque no llegan muy lejos.

Ser sincero es un gran indicio de madurez, de fuerza, de valentía y de respeto a los demás, que pueden de este modo vivir a nuestro lado por aquello que realmente somos. Muchas veces el precio que hay que pagar en el caso de que la mentira se descubra es la pérdida total de una relación de confianza, de amistad o de amor. El mundo de la falsedad es infinito, va desde el pequeño embuste hasta los homicidios premeditados, desde las estrategias de estafas financieras hasta los planes de genocidio terrorista. La mentira es casi más terrible que la violencia.

La lectura completa de los pensamientos está todavía a la distancia de unos cuantos ciclos de Halley, pero ya hay quien lo está investigando. Lo que se ha conseguido tener, por ahora, es una máquina capaz de ver qué zonas del cerebro se encienden en respuesta a diversos estímulos.

Del mismo modo, para poner de manifiesto las mentiras no es necesario leer toda la mente. Bastará una serie de imágenes de escáneres cerebrales, tomados en el momento justo. También estas imágenes se pueden tomar ya en la actualidad, pero se tratar de dar un paso adelante en la tecnología. Lo que hace falta es un neuroescáner de alta resolución, capaz de actuar a una modesta distancia y con discreción. Es como si debajo de la mesa del juez hubiera una

máquina dirigida al cerebro del acusado, que está sentado a unos metros de distancia. El juez se daría cuenta inmediatamente de si las respuestas del acusado son verdaderas o falsas.

Tendremos un mundo mejor, aunque desde luego con menos privacidad.

¿Cómo puede hacernos inmortales el silicio?

En teoría, la parte verdaderamente importante del cerebro no es su estructura, sino los intercambios entre neurona y neurona, es decir, los «algoritmos» u operaciones que se ejecutan en la red cerebral. El *software* craneal es uno de los programas más elaborados que existen, pero eso no significa que sea imposible transportarlo. Si es posible transferir un *software* de un soporte a otro, ¿por qué no se va a poder descargar el contenido de nuestro cerebro en silicio, en un «chip» adjunto? Nuestros recuerdos y nuestros dolores, las alegrías y los errores, los sueños y los amores imposibles, el sabor del viento y el rumor de la lluvia golpeando y deslizándose sobre los tejados…

El contenido de nuestro cerebro sería tan inmortal como el silicio del chip. No solamente no correremos ya el riesgo de olvidar algo, sino que podremos recuperar del chip informaciones que no sabíamos siquiera que hubiéramos pensado, datos cerebrales que han sido registrados y de los cuales no somos conscientes. Piensa lo estupendo que sería recordar de repente el nombre de todos tus compañeros de la guardería, o la expresión de los ojos de una mascota que te enamoró y ahora ya no está.

Tendremos, por lo tanto, una copia perfecta de nuestro cerebro en un chip, y eso no sería más que el principio. Lo bueno vendría después, cuando se intentara hacer funcionar por sí sola la copia de nuestro cerebro: esto sí que lo cambiaría todo.

Constructores moleculares. ¿Se empleará la nanotecnología para construir moléculas?

El sueño de los científicos es construir objetos a escala molecular, por tanto infinitamente pequeños, programables, reproducibles en números elevadísimos y capaces de montar también, en caso necesario, objetos de complejidad macroscópica. Para estos «constructores moleculares», hacer una moto o un satélite partiendo de un material en bruto como pueda ser un montoncito de moléculas se convertiría en una posibilidad concreta. Una vez programados, son eficientes y disciplinados, como las abejas de una colmena. Como perfectos ahorradores, los constructores moleculares son capaces de utilizar material a bajo coste, incluso procedente de las sobras de otros trabajos.

No olvidemos que también los seres humanos, las ballenas o los dinosaurios, y en general todas las máquinas complejas, tienen algo en común: se construyen reuniendo un número cada vez mayor de moléculas.

El proyecto, tan genial, es en definitiva una imitación de la naturaleza. Si ella lo ha logrado, con un poco de esfuerzo también nosotros podemos hacerlo. Inventar un mundo de constructores moleculares programados para realizar un montaje específico supone un desafío para la historia de la humanidad, que, después, ya no se basará en el trabajo humano.

La fábrica de sangre. ¿Dispondremos de sangre artificial?

El mundo de las transfusiones está viviendo una auténtica revolución: un equipo de investigadores franceses ha realizado una transfusión de glóbulos rojos fabricados en el laboratorio.

Este experimento abre perspectivas hasta ahora inimaginables.

Los investigadores han descubierto cómo extraer células estaminales adultas de la médula ósea, hacerlas crecer en el laboratorio hasta transformarlas en células que son exactamente iguales a los glóbulos rojos y actúan exactamente igual que ellos. De una sola célula, extraída de un cordón umbilical, se pueden generar 50 millones de glóbulos rojos.

Mejor aún si se utilizan células pluripotentes obtenidas de la reprogramación de cualquier célula de nuestro organismo: piel, pelo, etc. Se podrán escoger los

donantes en función de su compatibilidad sanguínea con el mayor número posible de receptores.

Este descubrimiento permitiría también una mayor producción de sangre de tipo O Rh- (es decir, O negativo, el menos frecuente pero el más importante, llamado «grupo sanguíneo universal» porque todos pueden recibirlo, incluso quienes tienen un grupo completamente distinto, A Rh+, B Rh-,AB Rh+ y así sucesivamente).

La cantidad, por ahora modesta, de sangre artificial producida hoy podría aumentar y llegar a ser una solución para intervenciones de urgencia como las que se realizan en las ambulancias, en zonas de guerra, en áreas afectadas por algún desastre y, especialmente, en situaciones hospitalarias en aquellas regiones del mundo donde no se dispone de bancos de sangre.

La aspiración futura de todos los médicos es transformar este experimento en una producción industrial que parta de la investigación pero haga participar a las industrias de biotecnología e ingeniería celular, a fin de suministrar los 90 millones de bolsas de sangre que hacen falta en el mundo cada día. Pero, mientras esperamos que todo esto se haga realidad, donemos nuestra sangre, que, por el momento, sigue siendo el único modo de salvar la vida a quien lo necesita.

La superación de los billetes y las monedas. ¿Desaparecerá el dinero?

La palabra «moneda» se deriva del griego *monytes*, «indicador», es decir, una cosa que representa otra.

La moneda que conocemos hoy nació de la exigencia de las transacciones comerciales, basada en la figura del comerciante, que garantizaba con su propio sello el valor del disco de metal; después, de la organización estatal, que utilizó la moneda como elemento de control de las transacciones y de la distribución de la riqueza. En la actualidad, el oro y la plata han sido sustituidos por unos trozos de papel carentes de valor intrínseco, vinculados exclusivamente a la confianza que ponen las personas en la estructura de la propia sociedad.

Nos parece haber dado un salto hacia delante al pasar, en pocos milenios, del

trueque en especie al dinero en metal y luego en papel. Con la llegada del cajero automático y las tarjetas de crédito, desde hace unos años estamos aprendiendo a utilizar cada vez menos el papel moneda. Piensa en lo sencillo que sería entonces determinar en un instante el crédito disponible de cada ciudadano y mostrarlo por medio de un chip subcutáneo, colocado, por ejemplo, en un dedo de la mano. En la caja de todas las tiendas podrías meter el dedo en un lector adecuado, que te indicaría el valor de la compra y cuánto puedes gastar todavía. También en este caso sufriría la privacidad, pero todos ganaríamos: resultaría casi imposible evadir impuestos, a menos que uno se amputara el dedo.

La carnicultura. ¿Compraremos la carne en la carnicería o en un laboratorio de química?

Ya nadie matará animales, pero podremos seguir comiendo carne. Parece una paradoja, pero será posible.

Al ser humano le gusta la carne y hasta ahora, para tenerla, ha matado, descuartizado y degollado animales, y les ha obligado a vivir en condiciones pésimas, a veces incluso crueles.

Imagina que se descubre una manera de hacer crecer la carne como si fuera un fruto, sin miedo a que contenga la enfermedad de las vacas locas o el virus de la gripe aviar.

La NASA ya ha probado a hacer crecer *in vitro* carne de pez para la nutrición durante los viajes espaciales. La carnicultura nos ofrecerá un producto seguro, sano, nutritivo, ecológico desde todos los puntos de vista: precisamente el cultivo de la carne *in vitro*, sin tener allí al animal.

La generación actual está viviendo el paso de la carne de los peces pescados en mar abierto a la de los criados en una jaula marina. Las próximas generaciones olvidarán que la carne se puede obtener también de los animales.

Los transgénicos, del jardín del Edén al Paraíso del futuro. ¿Qué comeremos?

Están llegando a nuestra mesa frutas, verduras y legumbres de aspecto idéntico a los de siempre pero cuyo patrimonio genético ha sido modificado artificialmente. Se trata de los llamados OGM, «organismos genéticamente modificados».

En el pasado, cuando había un parásito que atacaba a una planta cultivada, se investigaba un pesticida que lograra eliminarlo.

Desde hace unos años, hemos escogido una vía alternativa. Podemos encontrar otra planta que sea resistente al parásito, por ejemplo porque produzca una sustancia que haga que sus tejidos sean tóxicos para el insecto, y extraer de sus células los genes, es decir, un fragmento de ADN, que le permita producir dicha sustancia. Entonces podemos introducir ese gen en la planta que queremos proteger, haciendo de este modo que pueda defenderse ella sola.

La ciencia que tiene la capacidad de hacer estos pequeños milagros se denomina «ingeniería genética». Ya ha conseguido producir no solamente maíz, melones y remolachas resistentes a sus parásitos, sino también tomates que no se pudren e incluso soja capaz de defenderse de un potente herbicida.

Hay mucha polémica en torno a esta práctica, a menudo basada en la ignorancia, la madre de todos los prejuicios. Ante todo es preciso aclarar que lo que se introduce en las células de estas plantas no es más que un fragmento de ADN, el cual por sí mismo no puede en modo alguno dañar.

Piensa en una madre vietnamita que da a sus pequeños la variedad de arroz transgénico llamada *golden rice* (arroz dorado). Se trata de un arroz con un añadido de vitamina A, que se deposita en una membrana en la superficie del grano: una óptima solución para combatir, por ejemplo, la pelagra, una terrible enfermedad aún extendida y que se debe a un déficit vitamínico. Puede que la señora vietnamita no entienda de ingeniería genética, pero está muy contenta de ver a sus niños crecer más sanos, e incluso es posible que una hija suya, dentro de unos años, estudie en el laboratorio nuevos beneficios de los transgénicos para el ser humano. Sin el *golden rice*, no habría sobrevivido.

Desde siempre nos hemos entretenido realizando cruces entre especies para aumentar la variedad de la naturaleza. Algunos ejemplos recientes son el

melocotón-nectarina, la mapo (mandarinapomelo), el *pluot*, nombre que se deriva del inglés: *plum* (ciruela) y *apricot* (albaricoque), y muchos otros más. Los transgénicos no poseen la fascinación ni la magia de los injertos, pero representan la solución del futuro a problemas de salud y de nutrición del ser humano, además de una prevención contra las enfermedades de las plantaciones.

La intención no es solo mejorar la resistencia de algunas plantas a los parásitos, sino incluso crear nuevas especies vegetales capaces de descontaminar el medio ambiente, producir medicamentos, vacunas y energía alternativa.

La clonación humana. ¿Aceptaremos crear copias de nosotros mismos?

Desde que nació la oveja Dolly, en 1996, la clonación humana ha parecido inevitable. Pero hasta hoy ningún clon humano se ha hecho realidad, como no sea entre las líneas de los relatos de ciencia ficción y en las imágenes de las películas del género.

Los científicos saben ya en la actualidad generar clones humanos, sustituyendo el núcleo de una célula huevo por otro extraído de una célula de otro individuo. Se han clonado embriones que no se han desarrollado más allá del estadio de «mórula» (aquel en el cual el embrión no es más que una bolita compacta de unas pocas células).

Aparte de los problemas técnicos, como la sincronización y la reprogramación adecuada de la célula, que se podrán resolver en breve, hay problemas éticos, más difíciles de solucionar.

Por ejemplo, ¿te gustaría la idea de que te hubieran clonado sin enterarte y encontrarte por ahí una copia tuya, mejor que tú porque ha aprendido de tus errores, que te roba a tu chica o tu chico, e incluso tu identidad?

La ventaja podría ser que, habiendo descubierto un talento propio, lograríamos desarrollarlo antes en nuestro clon, adelantando e intensificando unos estudios idóneos para optimizar el rendimiento. Por lo tanto, si Einstein consiguió conquistar el Nobel a los 42 años, Einstein.2 (es decir, su clon), con la justa preparación encaminada a ese fin, conseguiría obtenerlo antes. Pero

pensemos también en la incomodidad psicológica del clonado que ha sido generado para parecerse a alguien que «valía la pena» clonar. Se centrarían en él unas expectativas y una atención que constituirían un auténtico atentado contra su identidad y su libertad personal.

La función del clon no es, sin embargo, la corrección de los errores del original. Cuántas veces hemos dicho: «Si pudiera volver atrás, no tomaría tal o cual decisión, o estudiaría más…». En la película *Batman*, que seguramente habrás visto, el padre de Bruce dice: «¡Uno cae para aprender a levantarse!». Y no por transformarnos en una población en la que cada uno es un «Don Perfecto» íbamos a ser felices. Por otro lado, ¿de qué nos serviría un clon «rectificado por nuestros errores» si no podemos estar en su lugar?

El valor del hombre y la mujer depende de su identidad personal, no solo de las cualidades biológicas que pueden ser apreciadas y por ello seleccionadas.

Así es la vida: un desafío que nos lanzamos a nosotros mismos. También sin clones.

Dimensiones extra. ¿Cuántas dimensiones descubriremos?

Salir de los esquemas y de la geometría de todos los días parece un sueño prohibido. Aunque la idea sea fantástica, las dimensiones extra del espacio podrían existir en la realidad.

Para comprobar si esto es real, el Large Hadron Collider (LHC) del CERN podría hacer chocar partículas una contra otra, liberando la suficiente energía para romper los lazos que las mantienen en las tres dimensiones y conducirnos a reinos extraordinarios.

La prueba de la existencia de dimensiones extra alteraría en su totalidad nuestra noción de qué es la realidad.

La principal teoría moderna que sostiene el principio de las dimensiones extra es el concepto de la supersimetría, con la cual se unifican los diferentes tipos de partículas en una sola familia feliz, lo cual solamente se puede hacer si el espacio posee por lo menos diez (mejor once) dimensiones. Puede ser que las

dimensiones extra no hayan sido observadas porque quizá son demasiado pequeñas para entrar en ellas, o puede que estemos bloqueados dentro de una membrana tridimensional, como una oruga confinada en su capullo.

Así pues, para ver qué hay más allá del horizonte de nuestro capullo, hemos de convertirnos en mariposas, o al menos intentarlo con el pensamiento, que no está enjaulado en la materia y puede contemplar cualquier misterio.

Este será nuestro deber para el futuro.

AGRADECIMIENTOS

La ciencia y su hermana pequeña, la divulgación científica, no tienen edad: no hace falta ser mayor para estudiar un libro de física ni es necesario ser un niño para leer un cuento. Son temas que gustan a todos y que contribuyen a estimular los sueños. Esperamos que, después de habernos leído, tus sueños sean fantásticos: sobre ellos construirá el mundo su futuro.

Hemos llegado a la última página: al término de nuestra aventura saludamos emocionados a nuestros amigos. Por suerte, el recorrido hace que nos encontremos con viejos amigos y conozcamos a otros nuevos.

Queremos agradeceros ante todo a ti, joven lector, la confianza que nos has otorgado, pero también a quien nos encomendó la tarea de escribir un texto para jóvenes. Francesco Gungui, autor de novelas para adolescentes y editor de la colección, nos ha brindado la posibilidad de unir nuestras fuerzas: ha sido una de las experiencias más enriquecedoras de nuestra vida. Francesco ha estado cerca de nosotros, metiéndose en el papel de un chico que quiere pasárselo bien aprendiendo muchas cosas. No habríamos podido perfeccionar el libro sin sus consejos.

Queremos dar las gracias también a Fiammetta Giorgi, responsable editorial de Libri per Ragazzi, que ha puesto a nuestra disposición todos los recursos de la editorial y ha prestado siempre atención a nuestras peticiones un poco «extraterrestres».

Federico, Fatima y Antea fueron los primeros lectores de la enseñanza media que se ofrecieron como «voluntarios» en esta aventura. Gracias de todo corazón a los tres valientes pioneros.

Pero el futuro no se acaba aquí. Podéis, mejor dicho, debéis seguirnos en otra dimensión, en la página *www.ilfuturo-spiegatoairagazzi.it*.

Dicho esto, amable espectador, te saludamos con una reverencia.

Sobre la última línea de esta página, cae el telón…



Giovanni Fabrizio Bignami (Desio, Italia, 10 de abril de 1944 - Madrid, España, 24 de mayo de 2017). Físico italiano. Se graduó en Física en 1968 en la Universidad de Milán, en el grupo de Giuseppe Occhialini. Desde entonces ha estado involucrado en la investigación espacial. Ha participado activamente en el diseño y construcción de numerosos satélites científicos. Qué nominado en los años 1988 - 1997 Investigador principal de la misión XMM-Newton de la ESA. Ha sido profesor titular de Astronomía y Astrofísica en el IUSS de Pavía.

Del 16 de marzo de 2007 al 1 de agosto de 2008 fue Presidente de la Agencia Espacial Italiana. Entre 2010 y 2014 fue el primer italiano en presidir el COSPAR (Comité de Investigación Espacial). Del 10 de agosto de 2011 al 16 de octubre de 2015, fue Presidente del INAF (Instituto Nacional de Astrofísica). Fue presidente de la junta directiva del proyecto SKA.



Cristina Bellon. Economista italiana, es una apasionada de las letras. Confirmada como una de las escritoras más versátiles, capaz de moverse entre varios géneros literarios, desde la ciencia ficción hasta el realismo, desde el misterio hasta la no ficción.

Colabora con La Stampa, Panorama, Donna Moderna y otras revistas que escriben sobre ciencia y actualidad. Es columnista y crítica literaria del semanario Archipiélago Milano de cultura y política, donde es responsable de Rubrica Libri.

Coordina contenidos científicos y literarios en festivales y exposiciones. Contribuyó al evento multimedia «Futuro Remoto» (Città della Scienza, Nápoles, 2012) y al primer Festival de Astronomía de Molise (Campobasso, 2015). Colaboró con el CIFS (Consorcio Interuniversitario de Física Espacial) de Turín para la comunicación del proyecto para la difusión de la Física. Fue directora artística del «Giardini Letterari 2017» de Villa Toeplitz. La primera crítica literaria más larga y extensa en la historia de Varese.

Fue directora artística de la primera edición de «VareseFestival 2017», el festival de literatura, ciencia y cine (21-22-23 de julio). Fue finalista en la competencia literaria GialloStresa 2014. Para Mondadori, publicó (2012) el ensayo «El futuro

explicado a los niños» escrito con el astrofísico Giovanni Bignami, ahora traducido al español (Siruela, Madrid, 2013). Para Gruppo B Editore (Milán), la novela «L'Ora Breve» (2014), 4.º lugar en la competencia literaria internacional «Vamos a ganar enfermedades graves» 2015. Para Morellini (Milán), la historia «El día de los persas» de la antología «Delitti di lago» (2015) y la historia «Il prigioniero dell'Ade», de la antología «Nuovi delitti di lago» (2016). Para El Cairo, la novela «L'uomo che non sono» (2016), segunda finalista del Premio Internacional de Literatura Città di Como 2017.