

# LA FÍSICA DE LO IMPOSIBLE

Michio Kaku

1

## Campos de fuerza

*I. Cuando un científico distinguido pero anciano afirma que algo es posible, es casi seguro que tiene razón. Cuando afirma que algo es imposible, es muy probable que esté equivocado.*

*II. La única manera de descubrir los límites de lo posible es aventurarse un poco más allá de ellos en lo imposible.*

*III. Cualquier tecnología suficientemente avanza da es indistinguible de la magia.*

*Las tres leyes de Arthur C. Clarke*

«¡Escudos arriba!»

En innumerables episodios de Star Trek esta es la primera orden que el capitán Kirk da a la tripulación: elevar los campos de fuerza para proteger del fuego enemigo a la nave espacial Enterprise.

Tan vitales son los campos de fuerza en Star Trek que la marcha de la batalla puede medirse por cómo está resistiendo el campo de fuerza. Cuando se resta potencia a los campos de fuerza, la Enterprise sufre más impactos dañinos en su casco, hasta que finalmente la rendición se hace inevitable.

Pero ¿qué es un campo de fuerza? En la ciencia ficción es engañosamente simple: una barrera delgada e invisible, pero impenetrable, capaz de desviar tanto haces láser como cohetes. A primera vista un campo de fuerza parece tan fácil que su creación como escudo en el campo de batalla parece inminente. Uno espera que cualquier día un inventor emprendedor anunciará el descubrimiento de un campo de fuerza defensivo. Pero la verdad es mucho más complicada.

De la misma forma que la bombilla de Edison revolucionó la civilización moderna, un campo de fuerza podría afectar profundamente a cada aspecto de nuestra vida. El ejército podría utilizar campos de fuerza para crear un escudo impenetrable contra misiles y balas enemigos, y hacerse así invulnerable. En teoría, podrían construirse puentes, superautopistas y carreteras con solo presionar un botón. Ciudades enteras podrían brotar instantáneamente en el desierto, con rascacielos hechos enteramente de campos de fuerza. Campos de fuerza erigidos sobre ciudades permitirían a sus habitantes modificar a voluntad los efectos del clima: vientos fuertes, huracanes, tornados. Podrían construirse ciudades bajo los océanos dentro de la segura cúpula de un campo de fuerza. Podrían reemplazar por completo al vidrio, el acero y el hormigón.

Pero, por extraño que parezca, un campo de fuerza es quizá uno de los dispositivos más difíciles de crear en el laboratorio. De hecho, algunos físicos creen que podría ser realmente imposible, a menos que se modifiquen sus propiedades.

**Michael Faraday**

El concepto de campos de fuerza tiene su origen en la obra del gran científico británico del siglo xix Michael Faraday.

Faraday nació en el seno de una familia de clase trabajadora (su padre era herrero) y llevó una vida difícil como aprendiz de encuadernador en los primeros años del siglo. El joven Faraday estaba fascinado por los enormes avances a que dio lugar el descubrimiento de las misteriosas propiedades de dos nuevas fuerzas: la electricidad y el magnetismo. Faraday devoró todo lo que pudo acerca de estos temas y asistió a las conferencias que impartía el profesor Humphrey Davy de la Royal Institution en Londres.

Un día, el profesor Davy sufrió una grave lesión en los ojos a causa de un accidente químico y contrató a Faraday como secretario. Faraday se ganó poco a poco la confianza de los científicos de la Royal Institution, que le permitieron realizar importantes experimentos por su cuenta, aunque a veces era ninguneado. Con los años, el profesor Davy llegó a estar cada vez más celoso del brillo que mostraba su joven ayudante, una estrella ascendente en los círculos experimentales hasta el punto de eclipsar la fama del propio Davy. Tras la muerte de Davy en 1829, Faraday se vio libre para hacer una serie de descubrimientos

trascendentales que llevaron a la creación de generadores que alimentarían ciudades enteras y cambiarían el curso de la civilización mundial.

La clave de los grandes descubrimientos de Faraday estaba en sus «campos de fuerza». Si se colocan limaduras de hierro por encima de un imán, las limaduras forman una figura parecida a una telaraña que llena todo el espacio. Estas son las líneas de fuerza de Faraday, que muestran gráficamente cómo los campos de fuerza de la electricidad y el magnetismo llenan el espacio. Si se representa gráficamente el campo magnético de la Tierra, por ejemplo, se encuentra que las líneas emanan de la región polar norte y luego vuelven a entrar en la Tierra por la región polar sur. Del mismo modo, si representáramos las líneas del campo eléctrico de un pararrayos durante una tormenta, encontraríamos que las líneas de fuerza se concentran en la punta del pararrayos. Para Faraday, el espacio vacío no estaba vacío en absoluto, sino lleno de líneas de fuerza que podían mover objetos lejanos. (Debido a la pobre educación que había recibido en su infancia, Faraday no sabía matemáticas, y en consecuencia sus cuadernos no están llenos de ecuaciones, sino de diagramas de estas líneas de fuerza dibujados a mano. Resulta irónico que su falta de formación matemática le llevara a crear los bellos diagramas de líneas de fuerza que ahora pueden encontrarse en cualquier libro de texto de física. En ciencia, una imagen física es a veces más importante que las matemáticas utilizadas para describirla.)

Los historiadores han especulado sobre cómo llegó Faraday a su descubrimiento de los campos de fuerza, uno de los conceptos más importantes de la ciencia. De hecho, toda la física moderna está escrita en el lenguaje de los campos de Faraday. En 1831 tuvo la idea clave sobre los campos de fuerza que iba a cambiar la civilización para siempre. Un día, estaba moviendo un imán sobre una bobina de cable metálico y advirtió que era capaz de generar una corriente eléctrica en el cable, sin siquiera tocarlo. Esto significaba que el campo invisible de un imán podía atravesar el espacio vacío y empujar a los electrones de un cable, lo que creaba una corriente.

Los «campos de fuerza» de Faraday, que inicialmente se consideraron pasatiempos inútiles, eran fuerzas materiales reales que podían mover

objetos y generar potencia motriz. Hoy, la luz que usted utiliza para leer esta página probablemente está alimentada gracias al descubrimiento de Faraday sobre el electromagnetismo. Un imán giratorio crea un campo de fuerza que empuja a los electrones en un cable y les hace moverse en una corriente eléctrica. La electricidad en el cable puede utilizarse entonces para encender una bombilla. El mismo principio se utiliza para generar la electricidad que mueve las ciudades del mundo. El agua que fluye por una presa, por ejemplo, hace girar un enorme imán en una turbina, que a su vez empuja a los electrones en un cable, lo que crea una corriente eléctrica que es enviada a nuestros hogares a través de líneas de alto voltaje.

En otras palabras, los campos de fuerza de Michael Faraday son las fuerzas que impulsan la civilización moderna, desde los bulldozers eléctricos a los ordenadores, los iPods y la internet de hoy.

Los campos de fuerza de Faraday han servido de inspiración para los físicos durante siglo y medio. Einstein estaba tan inspirado por ellos que escribió su teoría de la gravedad en términos de campos de fuerza. También yo me inspiré en los campos de Faraday. Hace años conseguí escribir la teoría de cuerdas en términos de los campos de fuerza de Faraday, fundando así la teoría de campos de cuerdas. En física, decir de alguien que «piensa como una línea de fuerza», se toma como un gran cumplido.

#### Las cuatro fuerzas

Una de las mayores hazañas de la física en los últimos dos mil años ha sido el aislamiento y la identificación de las cuatro fuerzas que rigen el universo. Todas ellas pueden describirse en el lenguaje de los campos introducido por Faraday. Por desgracia, no obstante, ninguna de ellas tiene exactamente las propiedades de los campos de fuerza que se describen en la mayor parte de la literatura de ciencia ficción. Estas fuerzas son:

#### 1.

**Gravedad.** La fuerza silenciosa que mantiene nuestros pies en el suelo, impide que la Tierra y las estrellas se desintegren, y mantiene unidos el sistema solar y la galaxia. Sin la gravedad, la rotación de la Tierra nos haría salir despedidos del planeta hacia el espacio a una velocidad de 1.600 kilómetros por hora. El problema es que la gravedad tiene propiedades exactamente opuestas a las de los campos de fuerza que

encontramos en la ciencia ficción. La gravedad es atractiva, no repulsiva; es extremadamente débil, en términos relativos; y actúa a distancias astronómicas. En otras palabras, es prácticamente lo contrario de la barrera plana, delgada e impenetrable que leemos en las historias de ciencia ficción o vemos en las películas de ciencia ficción. Por ejemplo, se necesita todo el planeta Tierra para atraer una pluma hacia el suelo, pero nos basta con un dedo para levantarla y contrarrestar la gravedad de la Tierra. La acción de nuestro dedo puede contrarrestar la gravedad de todo un planeta que pesa más de seis billones de billones de kilogramos.

2.

**Electromagnetismo (EM).** La fuerza que ilumina nuestras ciudades. Los láseres, la radio, la televisión, los aparatos electrónicos modernos, los ordenadores, internet, la electricidad, el magnetismo... todos son consecuencias de la fuerza electromagnética. Es quizá la fuerza más útil que han llegado a dominar los seres humanos. A diferencia de la gravedad, puede ser tanto atractiva como repulsiva. Sin embargo, hay varias razones por las que no es apropiada como un campo de fuerza. En primer lugar, puede neutralizarse con facilidad. Los plásticos y otros aislantes, por ejemplo, pueden penetrar fácilmente en un potente campo eléctrico o magnético. Un trozo de plástico arrojado contra un campo magnético lo atravesaría directamente. En segundo lugar, el electromagnetismo actúa a distancias muy grandes y no puede concentrarse fácilmente en un plano. Las leyes de la fuerza EM se describen mediante las ecuaciones de Maxwell, y estas ecuaciones no parecen admitir campos de fuerzas como soluciones.

3 y 4. **Las fuerzas nucleares débil y fuerte.** La fuerza débil es la fuerza de la desintegración radiactiva. Es la fuerza que calienta el centro de la Tierra, que es radiactivo. Es la fuerza que hay detrás de los volcanes, los terremotos y la deriva de los continentes. La fuerza fuerte mantiene unido el núcleo del átomo. La energía del Sol y las estrellas tiene su origen en la fuerza nuclear, que es responsable de iluminar el universo. El problema es que la fuerza nuclear es una fuerza de corto alcance, que actúa principalmente a la distancia de un núcleo. Puesto que está tan ligada a las propiedades de los núcleos, es extraordinariamente difícil de manipular. Por el momento, las únicas formas que tenemos de

manipular esta fuerza consisten en romper partículas subatómicas en colisionadores de partículas o detonar bombas atómicas.

Aunque los campos de fuerza utilizados en la ciencia ficción no parecen conformarse a las leyes de la física conocidas, hay todavía vías de escape que harían posible la creación de un campo de fuerza semejante. En primer lugar, podría haber una quinta fuerza, aún no vista en el laboratorio. Una fuerza semejante podría, por ejemplo, actuar a una distancia de solo unos pocos centímetros o decenas de centímetros, y no a distancias astronómicas. (Sin embargo, los intentos iniciales de medir la presencia de esa quinta fuerza han dado resultados negativos.)

En segundo lugar, quizá sería posible utilizar un plasma para imitar algunas de las propiedades de un campo de fuerza. Un plasma es «el cuarto estado de la materia». Sólidos, líquidos y gases constituyen los tres estados de la materia familiares, pero la forma más común de materia en el universo es el plasma, un gas de átomos ionizados. Puesto que los átomos de un plasma están rotos, con los electrones desgajados del átomo, los átomos están cargados eléctricamente y pueden manipularse fácilmente mediante campos eléctricos y magnéticos.

Los plasmas son la forma más abundante de la materia visible en el universo, pues forman el Sol, las estrellas y el gas interestelar. Los plasmas no nos son familiares porque raramente se encuentran en la Tierra, pero podemos verlos en forma de descargas eléctricas, en el Sol y en el interior de los televisores de plasma.

### Ventanas de plasma

Como se ha señalado, si se calienta un gas a una temperatura suficientemente alta, y se crea así un plasma, este puede ser moldeado y conformado mediante campos magnéticos y eléctricos. Por ejemplo, se le puede dar la forma de una lámina o de una ventana. Además, esta «ventana de plasma» puede utilizarse para separar un vacío del aire ordinario. En teoría, se podría impedir que el aire del interior de una nave espacial se escapase al espacio, y crear así una conveniente y transparente interfaz entre el espacio exterior y la nave espacial.

En la serie televisiva *Star Trek* se utiliza un campo de fuerza semejante para separar el muelle de carga de la lanzadera, donde se encuentra una pequeña cápsula espacial, del vacío del espacio exterior. No solo es un



modo ingenioso de ahorrar dinero en decorados, sino que es un artificio posible.

La ventana de plasma fue inventada por el físico Ady Herschcovitch en 1995 en el Laboratorio Nacional de Brookhaven en Long Island, Nueva York. La desarrolló para resolver los problemas que planteaba la soldadura de metales utilizando haces de electrones. Un soplete de acetileno utiliza un chorro de gas caliente para fundir y luego soldar piezas de metal. Pero un haz de electrones puede soldar metales de forma más rápida, más limpia y más barata que los métodos ordinarios. Sin embargo, el problema con la soldadura por haz de electrones es que debe hacerse en vacío. Este requisito es un gran inconveniente, porque significa crear una cámara de vacío que puede ser tan grande como una habitación.

El doctor Herschcovitch inventó la ventana de plasma para resolver este problema. De solo un metro de altura y menos de 30 centímetros de diámetro, la ventana de plasma calienta gas hasta unos 7.000 °C y crea un plasma que queda atrapado por campos eléctrico y magnético. Estas partículas ejercen presión, como en cualquier gas, lo que impide que el aire penetre violentamente en la cámara de vacío, separando así el aire del vacío. (Cuando se utiliza gas argón en la ventana de plasma, esta toma un brillo azul, como el campo de fuerza en Star Trek.)

La ventana de plasma tiene amplias aplicaciones en la industria y los viajes espaciales. Muchas veces, los procesos de manufactura necesitan un vacío para realizar microfabricación y grabado en seco con fines industriales, pero trabajar en vacío puede ser caro. Pero con la ventana de plasma se puede contener un vacío sin mucho gasto apretando un botón.

Pero ¿puede utilizarse también la ventana de plasma como escudo impenetrable? ¿Puede soportar el disparo de un cañón? En el futuro cabe imaginar una ventana de plasma de una potencia y temperatura mucho mayores, suficientes para dañar o vaporizar los proyectiles incidentes. No obstante, para crear un campo de fuerza más realista, como los que encontramos en la ciencia ficción, se necesitaría una combinación de varias tecnologías dispuestas en capas. Cada capa no sería suficientemente fuerte para detener por sí sola una bala de cañón, pero la combinación sí podría hacerlo.

La capa exterior podría ser una ventana de plasma supercargado, calentado a una temperatura lo suficientemente elevada para vaporizar metales. Una segunda capa podría ser una cortina de haces láser de alta energía. Esta cortina, que contendría miles de haces láser entrecruzados, crearía una red que calentaría los objetos que la atravesaran y los vaporizaría. Discutiré con más detalle los láseres en el capítulo siguiente.

Y tras esta cortina láser se podría imaginar una red hecha de «nanotubos de carbono», tubos minúsculos hechos de átomos de carbono individuales que tienen un átomo de espesor y son mucho más resistentes que el acero. Aunque el actual récord mundial para la longitud de un nanotubo de carbono es de solo 15 milímetros, podemos imaginar que un día seremos capaces de fabricar nanotubos de carbono de longitud arbitraria. Suponiendo que los nanotubos de carbono puedan entretorse en una malla, podrían crear una pantalla de gran resistencia, capaz de repeler la mayoría de los objetos. La pantalla sería invisible, puesto que cada nanotubo de carbono es de grosor atómico, pero la malla de nanotubos de carbono sería más resistente que cualquier material.

Así, mediante una combinación de ventana de plasma, cortina láser y pantalla de nanotubos de carbono, cabría imaginar la creación de un muro invisible que sería prácticamente impenetrable por casi cualquier medio.

Pero incluso este escudo multicapas no satisfaría por completo todas las propiedades de un campo de fuerza de la ciencia ficción, porque sería transparente y por ello incapaz de detener un haz láser. En una batalla con cañones láser, el escudo multicapa sería inútil.

Para detener un haz láser el escudo tendría que poseer también una forma avanzada de «fotocromática». Este es el proceso que se utiliza para las gafas de sol que se oscurecen automáticamente al ser expuestas a la radiación ultravioleta. La fotocromática se basa en moléculas que pueden existir en al menos dos estados. En un estado la molécula es transparente, pero cuando se expone a radiación ultravioleta cambia instantáneamente a la segunda forma, que es opaca.

Quizá un día seamos capaces de utilizar nanotecnología para producir una sustancia tan dura como nanotubos de carbono que pueda cambiar sus propiedades ópticas cuando se expone a luz láser. De este modo,



un escudo podría detener un disparo de láser tanto como un haz de partículas o fuego de cañón. De momento, sin embargo, no existe la fotocromática que pueda detener haces láser.

#### Levitación magnética

En la ciencia ficción, los campos de fuerza tienen otro fin además de desviar disparos de pistolas de rayos, y es el de servir como plataforma para desafiar la gravedad. En la película *Regreso al futuro*, Michael

J. Fox monta una «tabla flotante», que se parece a un monopatín excepto en que flota sobre la calle. Tal dispositivo antigraavedad es imposible según las leyes de la física tal como hoy las conocemos (como veremos en el capítulo 10). Pero tablas flotantes y coches flotantes ampliados magnéticamente podrían hacerse realidad en el futuro y darnos la capacidad de hacer levitar grandes objetos a voluntad. En el futuro, si los «superconductores a temperatura ambiente» se hacen una realidad, podríamos ser capaces de hacer levitar objetos utilizando el poder de campos de fuerza magnéticos.

Si colocamos dos imanes próximos uno a otro con sus polos norte enfrentados, los dos imanes se repelen. (Si damos la vuelta a un imán de modo que el polo norte de uno esté frente al polo norte del otro, entonces los dos imanes se atraen.) Este mismo principio, que los polos norte se repelen, puede utilizarse para levantar pesos enormes del suelo. Varios países ya están construyendo trenes avanzados de levitación magnética (trenes maglev) que se ciernen sobre las vías utilizando imanes ordinarios. Puesto que la fricción es nula, pueden alcanzar velocidades récord, flotando sobre un cojín de aire.

En 1984 empezó a operar en el Reino Unido el primer sistema maglev comercial del mundo, que cubre el trayecto entre el aeropuerto internacional de Birmingham y la cercana estación de ferrocarril internacional de Birmingham. También se han construido trenes maglev en Alemania, Japón y Corea, aunque la mayoría de ellos no están diseñados para alcanzar grandes velocidades. El primer tren maglev comercial que funciona a alta velocidad es el de la línea de demostración del segmento operacional inicial (IOS) en Shanghai, que viaja a una velocidad máxima de 430 kilómetros por hora. El tren maglev japonés en la prefectura de Yamanashi alcanzó una velocidad de 580 kilómetros por hora, más rápido incluso que los trenes de ruedas convencionales.

Pero estos dispositivos maglev son muy caros. Una manera de aumentar su eficacia sería utilizar superconductores, que pierden toda la resistencia eléctrica cuando son enfriados hasta cerca del cero absoluto. La superconductividad fue descubierta en 1911 por Heike Kamerlingh Onnes. Cuando ciertas sustancias se enfrían por debajo de 20 K sobre el cero absoluto pierden toda su resistencia eléctrica. Normalmente, cuando bajamos la temperatura de un metal, su resistencia disminuye. (Esto se debe a que las vibraciones aleatorias de los átomos dificultan el flujo de electrones en un cable. Al reducir la temperatura se reducen estos movimientos aleatorios, y la electricidad fluye con menos resistencia.) Pero para gran sorpresa de Kamerlingh Onnes, él encontró que la resistencia de ciertos materiales cae abruptamente a cero a una temperatura crítica.

Los físicos reconocieron inmediatamente la importancia de este resultado. Las líneas de transporte de electricidad sufren pérdidas importantes cuando transportan la electricidad a grandes distancias. Pero si pudiera eliminarse toda la resistencia, la potencia eléctrica podría transmitirse casi gratis. De hecho, si se hiciera circular la electricidad por una bobina superconductora, la electricidad circularía durante millones de años sin ninguna reducción en la energía. Además, con estas enormes corrientes eléctricas sería fácil hacer electroimanes de increíble potencia. Con estos electroimanes podrían levantarse pesos enormes con facilidad.

Pese a todos estos poderes milagrosos, el problema con la superconductividad resulta que es muy caro mantener sumergidos grandes electroimanes en tanques de líquido superenfriado. Se requieren enormes plantas de refrigeración para mantener los líquidos superenfriados, lo que hace prohibitivamente caros los imanes superconductores.

Pero quizá un día los físicos sean capaces de crear un «superconductor a temperatura ambiente», el Santo Grial de los físicos del estado sólido. La invención de superconductores a temperatura ambiente en el laboratorio desencadenaría una segunda revolución industrial. Sería tan barato conseguir potentes campos magnéticos capaces de elevar coches y trenes que los coches flotantes se harían económicamente viables. Con superconductores a alta temperatura podrían hacerse realidad los fantásticos coches volantes que se ven en Regreso al futuro, Minority

Report y La guerra de las galaxias.

En teoría, se podría llevar un cinturón hecho de imanes superconductores que permitiría levitar sin esfuerzo. Con tal cinturón, uno podría volar en el aire como Superman. Los superconductores a temperatura ambiente son tan notables que aparecen en muchas novelas de ciencia ficción (tales como la serie Mundo Anillo escrita por Larry Niven en 1970).

Durante décadas los físicos han buscado superconductores a temperatura ambiente sin éxito. Ha sido un proceso tedioso de ensayo y error, probando un material tras otro. Pero en 1986 se descubrió una nueva clase de sustancias llamadas «superconductores a alta temperatura» que se hacen superconductoras a unos 90 grados sobre el cero absoluto, o 90 K, lo que causó sensación en el mundo de la física. Parecía que se abrían las compuertas. Mes tras mes, los físicos competían por conseguir el próximo récord mundial para un superconductor. Durante un tiempo pareció que la posibilidad de superconductores a temperatura ambiente saltaba de las páginas de las novelas de ciencia ficción a nuestras salas de estar. Pero tras algunos años de movimiento a velocidad de vértigo, la investigación en superconductores a alta temperatura empezó a frenarse.

Actualmente, el récord mundial para un superconductor a alta temperatura lo tiene una sustancia llamada óxido de cobre y mercurio, talio, bario y calcio, que se hace superconductor a 138 K (-135 °C). Esta temperatura relativamente alta está todavía muy lejos de la temperatura ambiente. Pero este récord de 138 K sigue siendo importante. El nitrógeno se licúa a 77 K, y el nitrógeno líquido cuesta casi lo mismo que la leche ordinaria. De modo que podría utilizarse nitrógeno líquido para enfriar esos superconductores a alta temperatura a un coste muy bajo. (Por supuesto, los superconductores a temperatura ambiente no necesitarían ser enfriados.)

Resulta bastante embarazoso que por el momento no exista ninguna teoría que explique las propiedades de estos superconductores a alta temperatura. De hecho, un premio Nobel aguarda al físico emprendedor que pueda explicar cómo funcionan los superconductores a alta temperatura. (Estos superconductores a alta temperatura están formados por átomos dispuestos en diferentes capas. Muchos físicos teorizan que esta estratificación del material cerámico hace posible que

los electrones fluyan libremente dentro de cada capa, creando un superconductor. Pero sigue siendo un misterio cómo sucede con exactitud.)

Debido a esa falta de conocimiento, los físicos tienen que recurrir a procedimientos de ensayo y error para buscar nuevos superconductores a alta temperatura. Esto significa que los míticos superconductores a temperatura ambiente pueden ser descubiertos mañana, el año que viene o nunca. Nadie sabe cuándo se encontrará una sustancia semejante, si es que llega a encontrarse.

Pero si se descubren superconductores a temperatura ambiente, podría desencadenarse una marea de aplicaciones comerciales. Campos magnéticos un millón de veces más intensos que el campo magnético de la Tierra (que es de 0,5 gauss) podrían convertirse en un lugar común.

Una propiedad común de la superconductividad se denomina efecto Meissner. Si colocamos un imán sobre un superconductor, el imán levitará, como si estuviera mantenido por una fuerza invisible. (La razón del efecto Meissner es que el imán tiene el efecto de crear un imán «imagen especular» dentro del superconductor, de modo que el imán original y el imán «imagen especular» se repelen. Otra manera de verlo es que los campos magnéticos no pueden penetrar en un superconductor; por el contrario, los campos magnéticos son expulsados. Por ello, si se mantiene un imán sobre un superconductor, sus líneas de fuerza son expulsadas por el superconductor, y así las líneas de fuerza empujan al imán hacia arriba, haciéndolo levitar.)

Utilizando el efecto Meissner, podemos imaginar un futuro en que las carreteras estén construidas con estas cerámicas especiales. Entonces, imanes colocados en nuestros cinturones o los neumáticos de nuestros automóviles nos permitirían flotar mágicamente hasta nuestro destino, sin ninguna fricción ni pérdida de energía.

El efecto Meissner actúa solo en materiales magnéticos, tales como metales. Pero también es posible utilizar imanes superconductores para hacer levitar materiales no magnéticos, llamados paramagnéticos y diamagnéticos. Estas sustancias no tienen propiedades magnéticas por sí mismas: solo adquieren sus propiedades magnéticas en presencia de un campo magnético externo. Las sustancias paramagnéticas son atraídas por un imán externo, mientras que las diamagnéticas son

repelidas por un imán externo.

El agua, por ejemplo, es diamagnética. Puesto que todos los seres vivos están hechos de agua, pueden levitar en presencia de un potente campo magnético. En un campo magnético de unos 15 teslas

(30.000 veces el campo de la Tierra), los científicos han hecho levitar animales pequeños, tales como ranas. Pero si los superconductores a temperatura ambiente se hicieran una realidad, sería posible hacer levitar también grandes objetos no magnéticos gracias a su carácter diamagnético.

En conclusión, campos de fuerza como los descritos habitualmente en la ciencia ficción no encajan en la descripción de las cuatro fuerzas del universo. Pero quizá sea posible simular muchas propiedades de los campos de fuerza utilizando un escudo multicapa consistente en ventanas de plasma, cortinas láser, nanotubos de carbono y fotocromática. Pero el desarrollo de un escudo semejante podría tardar muchas décadas, o incluso un siglo. Y si llegaran a encontrarse superconductores a temperatura ambiente, seríamos capaces de utilizar potentes campos magnéticos para hacer levitar automóviles y trenes y elevarnos en el aire, como en las películas de ciencia ficción.

Dadas estas consideraciones, yo clasificaría los campos de fuerza como una imposibilidad de clase I; es decir, algo que es imposible con la tecnología de hoy, pero posible, en una forma modificada, dentro de un siglo más o menos.

**Título original: Physics of the Impossible**

**Primera edición: abril de 2009**

© 2008, Michio Kaku

© 2009, de la presente edición en castellano para todo el mundo:

**Random House Mondadori, S. A.**

Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona © 2009, Javier García Sanz, por la traducción