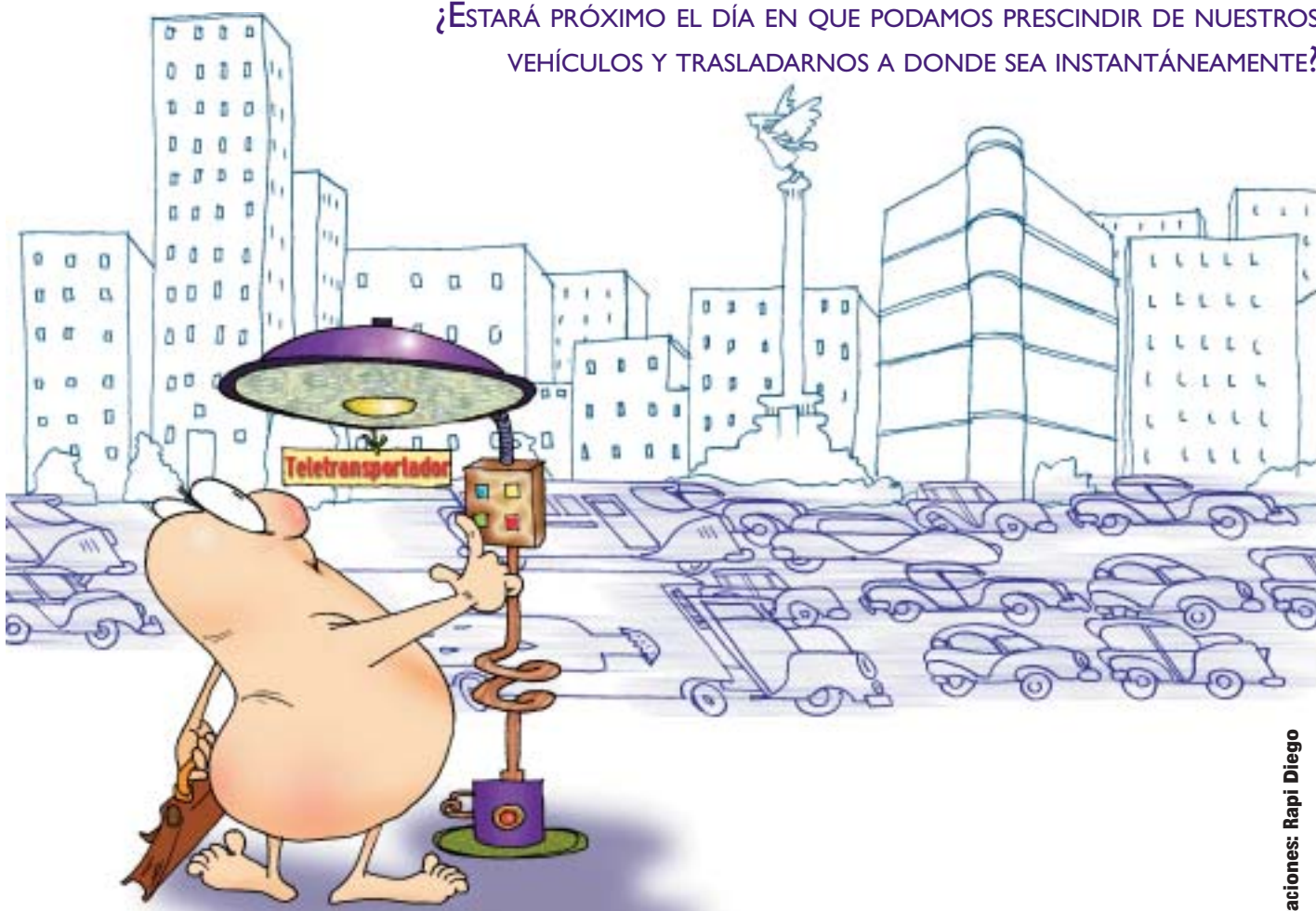


Teletransportación

cuántica

Sergio de Régules

LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE MÉXICO PODRÍAMOS SER LOS MÁS FERVIENTES PARTIDARIOS DE UNA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN FÍSICA QUE SE HA ESTADO DESARROLLANDO EN AÑOS RECIENTES: LA TELETRANSPORTACIÓN CUÁNTICA. ¿CÓMO ME GUSTARÍA PODER TRASLADARME INSTANTÁNEAMENTE DE UN LUGAR A OTRO SIMPLEMENTE OPRIMIENDO UN BOTÓN, SIN TENER QUE PADECER EL TRÁFICO DE ESTA CIUDAD NI LA MALA EDUCACIÓN DE SUS AUTOMOVILISTAS! ¿SERÁ POSIBLE? ¿ESTARÁ PRÓXIMO EL DÍA EN QUE PODAMOS PRESCINDIR DE NUESTROS VEHÍCULOS Y TRASLADARNOS A DONDE SEA INSTANTÁNEAMENTE?



Ilustraciones: Rapi Diego



HACE UNOS MESES los medios de comunicación anunciaron que un equipo de la Universidad Nacional Australiana había logrado teletransportar un rayo láser. El rayo desapareció de un lugar y en un abrir y cerrar de ojos reapareció desplazado un metro.

En las películas de ciencia ficción se dice que las personas se teletransportan cuando desaparecen de un lugar y reaparecen en otro (si no desaparecen del lugar original entonces se duplican, no sólo se teletransportan). Para teletransportar a una persona primero habría que extraer toda la información que contiene —¿de qué está hecha?, ¿en qué posición se encuentra cada partícula?, ¿en qué estado?— lo cual se podría hacer con algún tipo de medición, digamos, por medio de un aparato que, como un *escáner* digital, lea y registre toda esa información. Tendrías que ser muy cuidadoso porque a la hora de teletransportar no querrías que a la estación receptora llegue una copia defectuosa ni incompleta del objeto original, sobre todo si el objeto original eres tú.

Como estás hecho de electrones, protones y neutrones, y éstos son iguales en todas partes, no sería necesario enviar a la estación receptora las partículas originales que te componen. Bastaría con la información de sus posiciones y características. Con la receta en mano, no le sería difícil a la estación receptora agenciarse electrones, protones y neutrones en números suficientes para reconstruirte en glorioso technicolor.

El problema con la teletransportación es que un principio muy general de la mecánica cuántica —el principio de incertidumbre de Heisenberg— dice, en pocas palabras, que es imposible extraer por medición toda la información acerca del estado

y las características de un objeto. Por lo tanto, el *escáner* imaginario no puede obtener toda la información necesaria para reconstruirte en la estación receptora. Al parecer, la mecánica cuántica prohíbe la teletransportación. ¡Qué fiasco!

En 1993 Charles H. Bennett y sus colaboradores idearon teóricamente una manera de usar las mismísimas leyes de la mecánica cuántica que impiden extraer por medición toda la información acerca de un objeto, para extraer la información que no se puede medir. Esto lo hicieron por medio de un efecto cuántico llamado *efecto EPR*. Con la información complementaria se puede construir una réplica del objeto original en otro lugar. Los científicos llamaron al procedimiento *teletransportación cuántica*.



Tenebrosa acción a distancia

Cuando los físicos se adentraron con la mecánica cuántica en el mundo de los objetos más pequeños de la naturaleza se llevaron muchas sorpresas. El reino de las moléculas, los átomos y las partículas subatómicas no se comporta como el mundo macroscópico cotidiano de la llamada *física clásica* (la de antes de la mecánica cuántica). Los neutrones, partículas que se suelen encontrar en los núcleos atómicos, se desintegran al cabo de cierto tiempo si no forman parte de un átomo. Si los neutrones fueran objetos clásicos (por ejemplo, granos de maíz en un horno de microondas), podríamos, por lo menos en principio, predecir en qué momento preciso se desintegrará un neutrón dado (o se convertirá en palomita un grano de maíz). La mecánica cuántica ni siquiera lo intenta; sólo permite calcular con qué probabilidad se desintegrará el neutrón en cierto lapso.

Este aspecto probabilístico de la mecánica cuántica fastidiaba de lo lindo a Albert Einstein, uno de los principales creadores de esa teoría. Einstein pensaba que una teoría que sólo daba probabilidades no era completa. Debía ser posible construir una teoría más profunda que la mecánica cuántica que sí permitiera predecir, por ejemplo, en qué momento se desintegra un neutrón.



culas podrían estar alejadísimas—por ejemplo, en lados opuestos de la galaxia.

Pues bien, dijeron Einstein, Podolsky y Rosen, si la mecánica cuántica fuera completa habría que concluir sin remedio

que, de todos modos, hacer mediciones sobre una de las partículas afecta a la otra, resultado aún más extraño.

Einstein llamaba con sorna a este efecto “tenebrosa acción a distancia”. Hoy se le conoce como efecto EPR.

El experimento EPR está concebido como un *experimento pensado* —no hay que hacerlo,

basta pensarlo para llegar a la conclusión de los autores.

Hoy en día, cerca de 70 años después, los físicos están realizando el experimento EPR, pero no sólo para justificar posturas filosóficas, sino para explorar y aprovechar los extraños fenómenos cuánticos.

Ser y/o no ser

El efecto EPR no es el único fenómeno cuántico insólito. Un grano de maíz en el horno de microondas puede encontrarse en uno de dos estados: *grano* o *palomita*. Si no es lo uno, será lo otro sin remedio. Los dos estados posibles de este objeto clásico se excluyen mutuamente. Pero si fuera un objeto cuántico, el grano de maíz podría estar también en una combinación extraña de esos dos estados: ni grano ni

palomita, tampoco medio grano y medio palomita, sino más bien grano/palomita (con distintos grados de lo uno y lo otro). Este fenómeno se llama *superposición de estados coherentes* y es exclusivo de la mecánica cuántica (véase “El gato de Schrödinger, ¿Cómo ves?, No. 8).

Me apresuro a decir que un objeto macroscópico como un grano de maíz no puede estar en una superposición coherente. Los estados superpuestos son muy frágiles; a la menor interacción con el entorno se esfuman y dan lugar a un estado bien definido. Un objeto hecho de muchas partículas es muy difícil de aislar de su entorno, por lo que muy pronto se produce lo que se conoce como *decoherencia*, la destrucción de la superposición, dejando al objeto macroscópico en uno de los dos estados clásicos: grano o palomita, sin opciones.

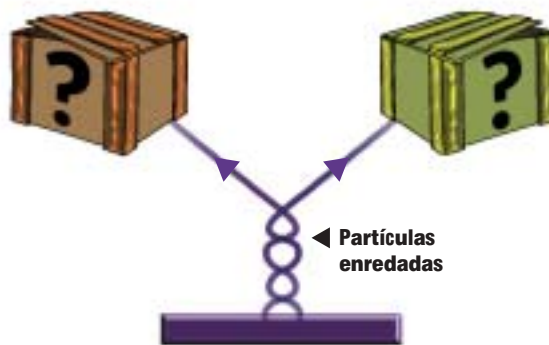
Los objetos suficientemente pequeños pueden mantenerse en una superposición coherente durante más tiempo, pero sólo a condición de no recibir ni la menor sacudida del exterior. Los estados super-

En 1935 Einstein y los físicos Boris Podolsky y Nathan Rosen escribieron un artículo con el que pretendían incitar a sus colegas a buscar una teoría más completa que la mecánica cuántica. Para eso idearon un experimento imaginario:

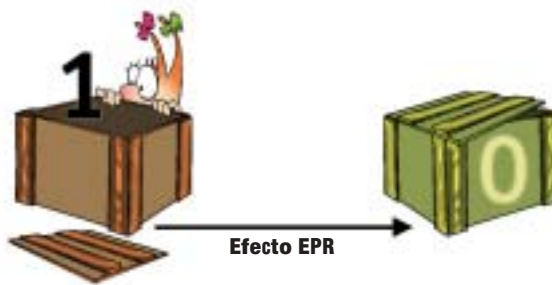
Un aparato produce parejas de partículas con cierta propiedad que puede tener sólo dos valores, digamos 1 y 0 (grano y palomita, desintegrado y sin desintegrar, vivo y muerto...). Si hiciéramos mediciones sobre las partículas, veríamos que una tiene el valor 1 y la otra el valor 0 de esa propiedad. Pero si no hacemos mediciones la descripción cuántica no permite asignarle un estado definido a cada partícula. Ni modo, así es la mecánica cuántica.

Si la mecánica cuántica fuera la teoría más completa posible —si lo que no dice la mecánica cuántica no existe— entonces antes de cualquier medición las partículas están de hecho en un extraño estado indefinido que no es ni 1 ni 0. Muy bien, ahora se hace la medición en una partícula y se determina que tiene el valor 0. La otra tiene que adquirir inmediatamente el valor 1. Por lo tanto, hacer mediciones en una de las partículas afecta a la otra, resultado bastante extraño. Pero las partí-

Experimento EPR



1. Se producen dos partículas enredadas que se separan. Antes de interactuar con el observador las partículas se encuentran en un estado indefinido.



2. Al observar una de las partículas para obtener su estado, la otra partícula, por interacción instantánea, adquiere el estado contrario.

puestos son privilegio de los objetos cuánticos que no han interactuado con nada, lo cual quiere decir que no los podemos detectar directamente, porque para detectarlos habría que interactuar con ellos.

Estados promiscuos

Para la teletransportación cuántica lo más interesante son los estados superpuestos de un sistema compuesto de dos o más partículas. Imagínate que haces el experimento EPR. Para eso produces un par de partículas p_1 y p_2 . Cada una por su cuenta podría estar en alguno de dos estados, 1 o 0 —o en una superposición, siempre y cuando no hagas nada para alterarlas—. Si les haces algo, entonces una queda en el estado 1 y la otra en el 0.

Pero la mecánica cuántica no permite considerar a estas partículas por separado. Sólo puede asignarles estado a las dos juntas. El conjunto tiene a su vez dos estados, **I** y **II**:

- I:** la partícula p_1 se encuentra en el estado 1 y la partícula p_2 se encuentra en el estado 0
- II:** la partícula p_1 se encuentra en el estado 0 y la partícula p_2 se encuentra en el estado 1

Estos estados también se pueden superponer cuánticamente.

Vayamos más despacio porque aquí se encuentra el argumento central de la teletransportación cuántica. Una sola partícula con dos estados clásicos incompatibles tiene la posibilidad, en mecánica cuántica, de encontrarse en una superposición de esos estados. Un sistema compuesto por dos partículas se puede considerar como un solo objeto que puede encontrarse

en los estados **I** y **II**, así como en una infinidad de estados cuánticos superpuestos de **I** y **II**. Cuando este sistema compuesto se encuentra en una superposición coherente tiene las siguientes características:

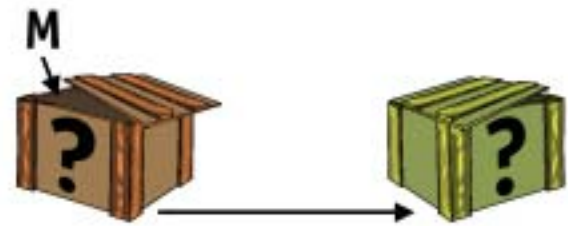
1. Las partículas se comportan como un solo objeto. No se puede decir que una se encuentre en el estado 1 y la otra en el 0.
2. Si se hace una medición en una de las partículas del sistema y se determina que es 1, la otra adquiere, inevitable e *instantáneamente*, el valor 0 (y la superposición coherente se destruye).

Este insólito tipo de estados de dos o más partículas se conoce en inglés como *entangled states*, expresión que traduciremos desvergonzadamente como *estados enredados*. El enredamiento cuántico es un vínculo muy extraño entre dos partículas. Puede surgir cuando las partículas se encuentran y persiste mucho después, aunque estén separadas por las distancias más grandes.

En física clásica, si dos partículas que deben tener estados opuestos se separan y luego se determina que una se encuentra, por ejemplo, en el estado 1, sabemos de inmediato que la otra se encuentra en el estado 0. Pero también sabemos que la otra partícula *ya se encontraba* en ese estado antes

de que hiciéramos mediciones sobre su compañera. Medir el estado de una no implica ninguna interacción con la otra.

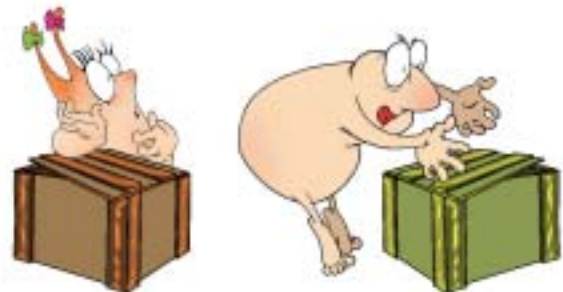
Pero en mecánica cuántica las partículas no se encuentran en ninguno de los estados posibles antes de la



1. Alicia enreda la partícula mensaje M con su partícula intermediaria y obtiene alguno de los cuatro estados posibles.



2. Alicia, utilizando vías de comunicación clásicas, le comunica a Beto el resultado de su operación.



3. Con la información proporcionada por Alicia, Beto extrae una partícula con las mismas propiedades que M.

medición. Cuando observamos una de las partículas para obtener su estado, la partícula adquiere uno de los estados clásicos. Como la otra está obligada a tener el estado opuesto —y antes de la medición se encontraba en un estado indefinido— la operación de medición sobre su compañera la afecta como si se la hubieran he-



cho a ella. Como dijo acerca de las partículas enredadas uno de los físicos que estudian la teletransportación cuántica: “si le hacemos cosquillas a una, se ríe la otra”.

Teletransportación cuántica

Ya es tradición que los personajes que se usan para ilustrar la teletransportación cuántica se llamen Alice y Bob. Yo los llamaré Alicia y Beto. Alicia tiene una partícula M (de “mensaje”) en un estado cuántico cualquiera. Para teletransportar M a casa de Beto, Alicia podría simplemente determinar el estado de la partícula y comunicárselo a Beto por teléfono, pero, como vimos, en cuanto Alicia trata de medir el estado de M , éste cambia y Alicia se queda sin la información que quería.

Hay otra manera de hacerlo. Según el esquema de Bennett y sus colaboradores, para teletransportar M lo primero que tienen que hacer Alicia y Beto es producir un par de partículas enredadas A y B , que servirán de intermediarias. Cada quien se lleva una partícula a su casa teniendo cuidado de no destruir la fragilísima coherencia (lo cual es muy difícil en la práctica). Una vez allí, Alicia toma sus dos partículas, M y A , y las enreda cuánticamente. Como A también está enredada con B , si se hacen mediciones se encontrará que:

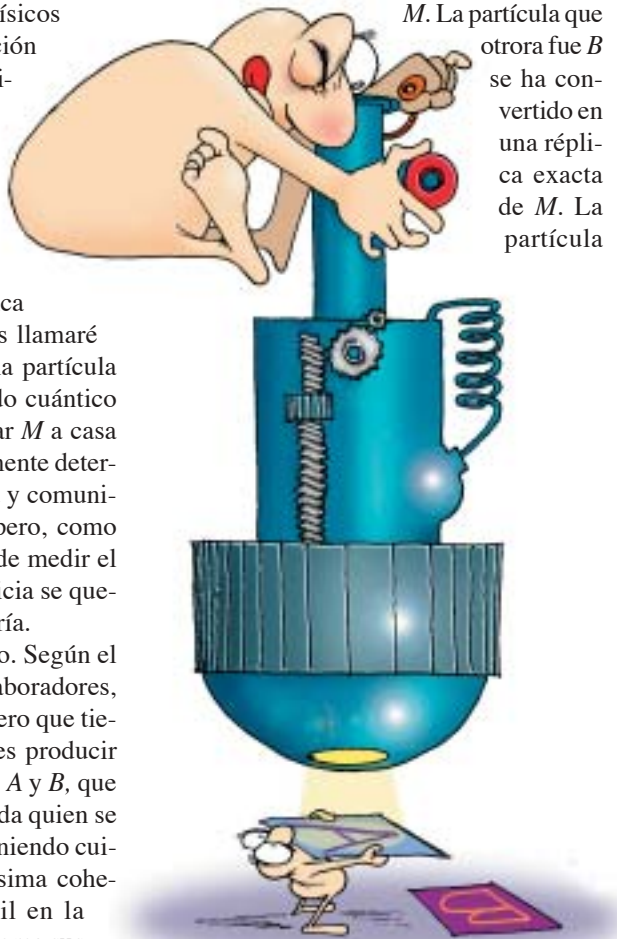
M y A tienen estados contrarios y

A y B tienen estados contrarios

lo cual sólo es posible si B se encuentra en el mismo estado que M .

Hay cuatro maneras distintas de enredar las partículas M y A , cada una con 25 % de probabilidad de producirse, pero Alicia no puede controlar en cuál de estos estados quedarán sus partículas (otra característica de la mecánica cuántica). Luego de la operación, Alicia tiene que informarle a Beto cuál de los cuatro estados enredados posibles obtuvo, y para eso tendrá que usar algún medio de comunicación tradicional. La teletransportación cuántica no es instantánea porque Alicia tiene que enviar información clásica a Beto. Con esta información, Beto aplica a su partícula B el tratamiento adecuado para que adquiera

el mismo estado que M . La partícula que otrora fue B se ha convertido en una réplica exacta de M . La partícula



que otrora fue M pierde su estado original al enredarse con A , de modo que el proceso equivale a una teletransportación y no a una duplicación.

Esta manera de transmitir información tiene características bastante insólitas. Para empezar, ni Beto ni Alicia tienen que saber en qué estado se encontraba M . La distancia que media entre Alicia y Beto no importa (se ha probado experimentalmente que los estados enredados se conservan por lo menos hasta distancias de 10 kilómetros, pero teóricamente se conservan aunque la distancia fuera de miles de millones de años luz). Es más, Alicia ni siquiera tiene que saber dónde se encuentra Beto.

El efecto EPR se en-

carga de llevar la información a su destino.

El fallo del jurado

Sí, muy bien, me dirán, pero ¿funciona? Las revistas especializadas ya están plagadas de informes de experimentos de teletransportación. La primera realización experimental de proceso ideado por Bennett y sus colaboradores la llevó a cabo un equipo internacional de físicos en la Universidad de Innsbruck, Austria, quienes consiguieron imprimirle el estado de polarización de un fotón (partícula de luz) a otro. Luego, en mayo de este año, el equipo de la Universidad Nacional Australiana teletransportó el rayo láser. En otro frente los físicos están tratando de enredar cuánticamente sistemas de partículas cada vez más numerosos y hacer durar la delicada coherencia lo más posible (el récord son unos cuantos microsegundos).

En resumen, al parecer la teletransportación sí funciona, pero, ¡ay de mí!, no está cercano el día en que podamos librarnos del coche, el metro y la combi. Teletransportar personas no está prohibido por la mecánica cuántica, pero “sería tan difícil que nadie está pensando seriamente en ponerlo en práctica”, según dice Ping Koy Lam, director del proyecto australiano. Con todo, la teletransportación cuántica tendrá aplicaciones interesantes, por ejemplo, en computación cuántica, disciplina nueva que busca usar las extrañas propiedades de los sistemas cuánticos para construir computadoras inimaginablemente rápidas y potentes. ¡Cómo me gustaría tener una computadora cuántica y no el vejedorio con el que escribí este artículo! ☹

Sergio de Régules es físico, autor de innumerables artículos de divulgación y de los libros *El Sol muerto de risa* (Pangea) y *Cuentos cuánticos* (ADN editores), y coautor de *El piropo matemático* (Ed. Lectorum). Trabaja en el Museo de las Ciencias *Universum*.

