

Para obtener combinaciones funcionales de materiales, necesitamos la complicidad de ciertas leyes fundamentales de la naturaleza que los átomos siguen obstinadamente. Los modernos microscopios van más allá de resolver el comportamiento más íntimo de la materia: pueden construirla átomo a átomo sorteando algunas de esas leyes. Esta filosofía ha permitido fabricar una memoria ferroeléctrica con unos pocos átomos a partir de una pizca de sal común

## ÁTOMO A ÁTOMO

### >¿PRACTICAN LOS CIENTÍFICOS LA ALQUIMIA EN EL SIGLO XXI?



#### ¿QUÉ SON LOS MATERIALES FERROELÉCTRICOS?

Si se les da la vuelta de arriba abajo, la mayor parte de los materiales tienen exactamente el mismo aspecto a nivel atómico. Debido a esta simetría, las cargas eléctricas de los átomos no son capaces de orientarse en una dirección particular, compensándose entre sí. Sin embargo, a algunos materiales les falla esta simetría, y precisamente entonces las cargas se separan y alinean formando dipolos eléctricos. Cuando, aplicando un voltaje, los dipolos se pueden conmutar entre dos orientaciones y estas permanecen estables tras retirarlo, el material es denominado ferroeléctrico.

**¿PARA QUÉ SIRVEN?** La base de la lógica binaria de las memorias y los procesadores de los dispositivos electrónicos es la capacidad de cambiar su estado entre dos opciones. Los materiales ferroeléctricos pueden hacerlo orientando sus cargas en una dirección o la contraria. Pero, a diferencia de la tecnología actual basada en los semiconductores, las cargas de un ferroeléctrico se separan o se acercan entre sí pero no fluyen a través del material. Una gran ventaja porque elimina las pérdidas por calentamiento, lo que implica que comparativamente, una memoria ferroeléctrica tendría un consumo

energético despreciable, además de ser mucho más rápida.

#### ¿ES POSIBLE CONSTRUIR UN FERROELÉCTrico CON SAL DE MESA?

Sí. Aunque el comportamiento ferroeléctrico espontáneo es una rareza muy poco probable, un ingeniero capaz de situar los átomos en el lugar deseado podría 'obligar' al material a funcionar como si fuera ferroeléctrico.

Esta es la estrategia que utilizamos en nuestro trabajo recientemente publicado en 'Nature Nanotechnology'. Aquí va la receta: partimos de un material que contenga cargas eléctricas positivas y negativas inmóviles, lo que se conoce como un material polar. En el caso del cloruro de sodio, o sal común, las cargas negativas son los átomos de cloro, y las positivas los de sodio. En este ejemplo, como soporte para la sal, utilizamos una capa monoatómica de nitrógeno de cobre, que está formada por una red bidimensional de átomos de nitrógeno unidos por átomos de cobre. Este sustrato será el responsable del cambio de propie-

dades de las capas ultradelgadas de sal colocadas sobre él.

Como vemos en el dibujo, sobre los átomos de nitrógeno, que tienen carga negativa, colocamos los sodios, donde se quedarán muy satisfechos, ya que dos cargas de distinto signo se atraen. Y, sobre los huecos de la red, colocamos los átomos de cloro, formando así otra capa monoatómica de sal sobre el soporte. De este modo, los átomos de la sal ya no 'ven' lo mismo hacia arriba, donde está el vacío, que hacia abajo, donde está el nitrógeno de cobre, y por tanto tienen una buena razón para moverse en distintas direcciones en función de su carga para formar dipolos eléctricos. Algo que no hace la sal 'normal'.

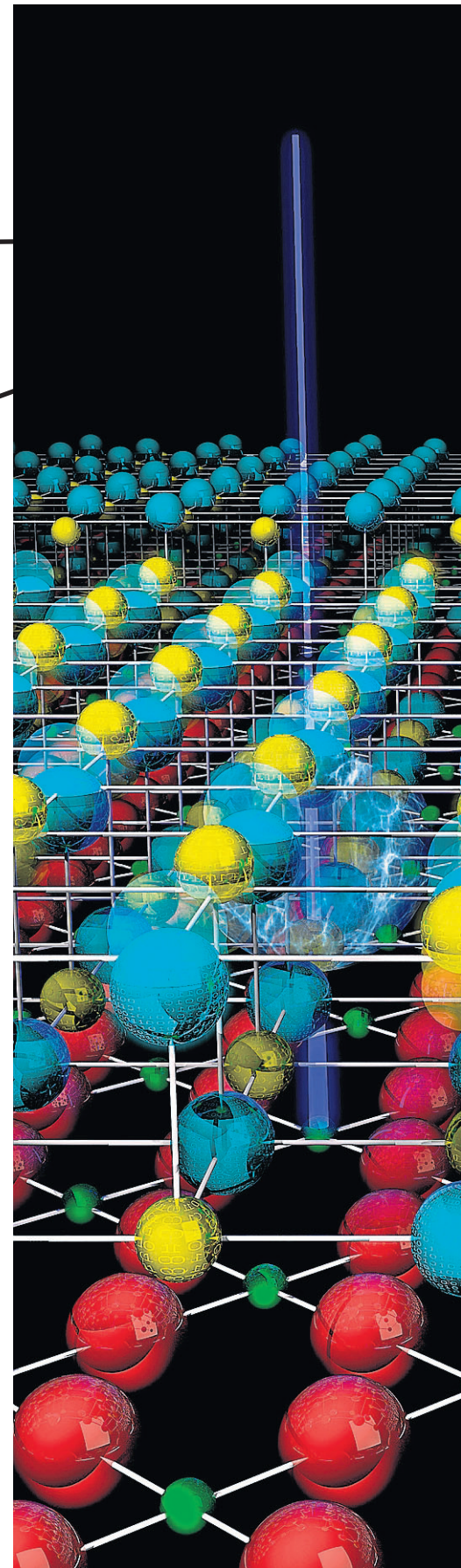
Podemos seguir construyendo

sal más gruesa poniendo por ejemplo otra capa de átomos de sodio sobre los cloros de la primera, y de cloros sobre los sodios. Pero el efecto desaparecería: si la hiciéramos demasiado

gruesa, las leyes que determinan la estructura de la sal acabarían dominando sobre la influencia del nitrógeno de cobre y la convertirían en sal 'normal'. De hecho, lo mejor es conformarnos con las dos primeras capas de sal.

Además, para hacer los dipolos robustos, los 'ingenieros atómicos' nos dimos cuenta de que conviene quitar algún átomo de cloro. Esta nueva sal ultradelgada, donde quitamos algún átomo de cloro seleccionado, se ha convertido en otro material con nuevas propiedades, aunque sus constituyentes sean los mismos que los de los granos con que sazonomos la ensalada. En cierto modo, esto es lo que un alquimista moderno llamaría 'transmutación'.

DAVID SERRATE DIRECTOR DEL ÁREA DE MICROSCOPIA DE SONDA PRÓXIMA DEL LABORATORIO DE MICROSCOPIAS AVANZADAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

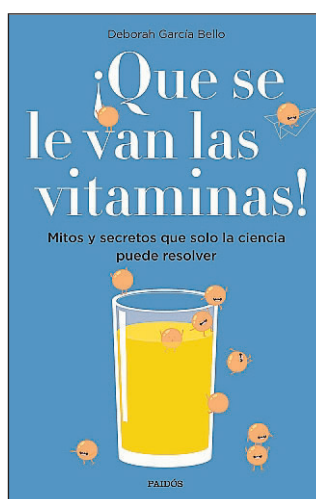


## LEEMOS

### PARA PENSAR

>DESMITIFICANDO CON LA CIENCIA EN LA MANO

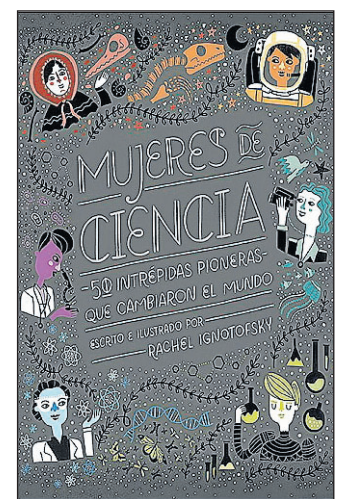
**DE ZUMOS Y BULOS** La química y divulgadora Deborah García Bello, autora de 'Todo es cuestión de química' (Premio Prismas 2017), desmonta un buen puñado de creencias populares 'de toda la vida' y de modernos bulos en su nuevo libro: '¡Que se le van las vitaminas!' (Paidós). Nada mejor que echar mano a la razón para decidir, bien informados, en un mundo con homeopatía, estelas tras los aviones y mil mitos alimentarios.



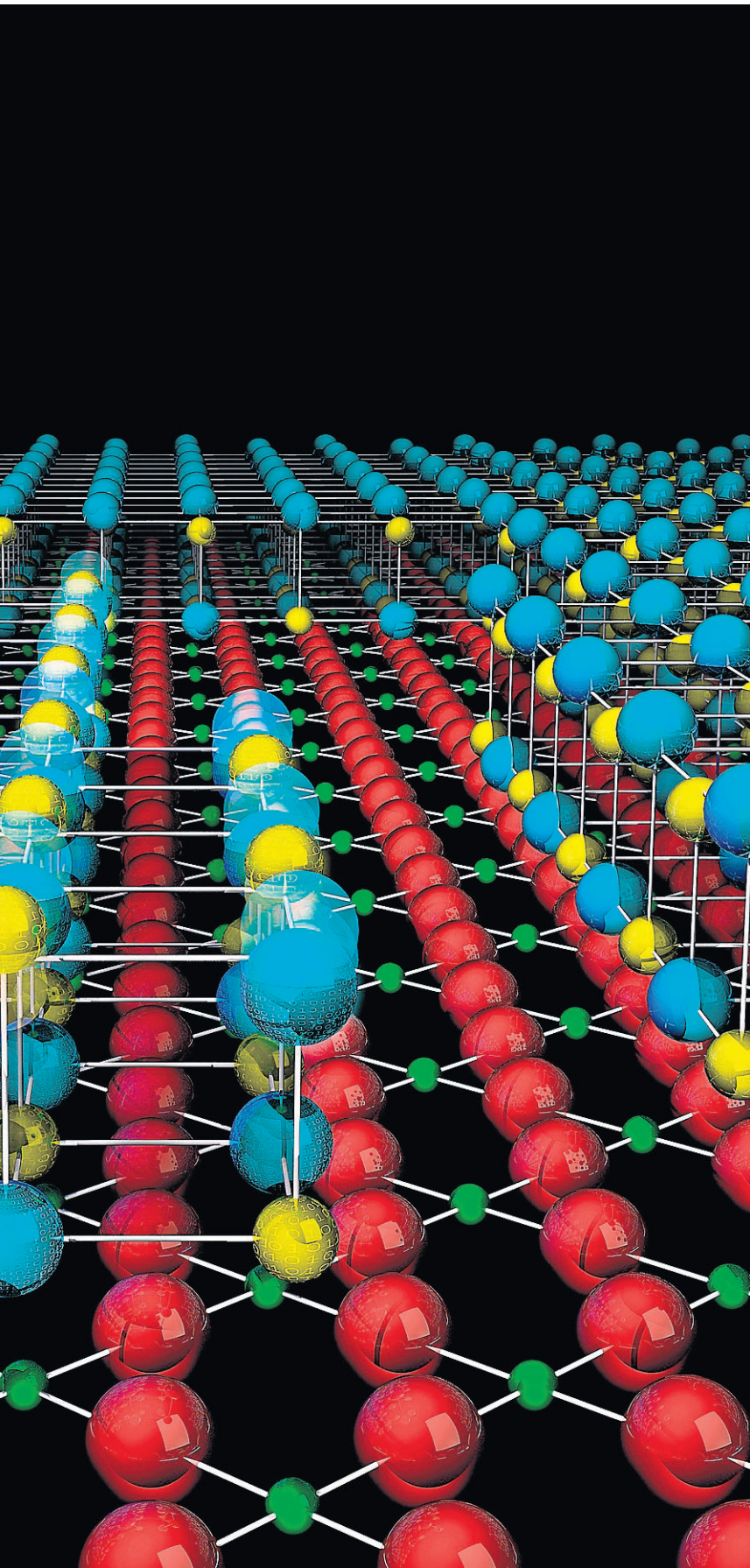
### PARA INSPIRAR

>DELICIOSAMENTE ILUSTRADAS

**PIONERAS** En opinión de la autora de 'Mujeres de ciencia' (Nordica libros), Rachel Ignatofsky, la ilustración es una poderosa herramienta para hacer del aprendizaje algo apasionante. Las contribuciones de 50 mujeres a la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, protagonizan esta obra. Algunas tan conocidas como Marie Curie o Jane Goodall, y otras no tanto, como Rachel Carson.







**LA CIENCIA SIGUE HACIÉNDOSE PREGUNTAS**

En el Laboratorio de Microscopías Avanzadas (LMA) de la Universidad de Zaragoza, en colaboración con el University College London y la Universidad de Liverpool, han descubierto cómo convertir cualquier material aislante que tenga cargas en su interior –incluso uno de tan bajo coste como la sal común– en ferroeléctrico, reduciendo su grosor a unas pocas capas de átomos. Pero el equipo experimental del LMA no piensa detenerse ahí. Su objetivo es expandir y generalizar el tipo de materiales aislantes que podemos transformar mediante ingeniería en la escala atómica, ahora también combinando su carácter ferroeléctrico con propiedades magnéticas como el espín. El fin último no es tan solo proponer funcionalidades de nuevos materiales artificiales para los dispositivos del futuro, sino que el dispositivo sea el mismo microscopio STM. Trabajar con su punta moviendo los átomos y utilizando las propiedades de esas estructuras con precisión atómica: almacenamiento de información, sensores biológicos, computación cuántica...

¿Cómo funciona esta herramienta capaz de construir la materia? Tanteando con un bastón, podemos reconstruir la superficie que pisamos aunque no podamos verla. Del mismo modo, pero palpando la materia con precisión atómica, funciona el microscopio de efecto túnel (STM). En lugar del contacto, el STM ‘palpa’ mediante el efecto túnel cuántico de los electrones entre la punta y la superficie. Además, igual que un bastón permitiría ordenar gravilla, la punta del STM es capaz de recolocar los átomos, como hacemos con los cloros de la sal para convertirla en ferroeléctrica. Combinando esta técnica con las de deposición de materiales en entornos controlados, podemos hacer realidad heteroestructuras diseñadas con precisión atómica.

Esquema del material creado por manipulación atómica. Las bolas verdes representan los átomos de nitrógeno y las rojas, los de cobre de la capa de nitruro de cobre sobre la que se coloca la sal: con sus átomos de cloro (amarillo) y sodio (azul). El haz azul oscuro es la corriente túnel de electrones del microscopio.

VICTORIA ROMERO NAVARRO  
Y LUIS JAVIER TORRECILLAS SEGURA

**11F-LA MUJER Y LA NIÑA EN LA CIENCIA**

**EXPOSICIÓN >¿HAY ALGUNA CIENTÍFICA EN LA SALA?**



Inventario de flora alrededor de un captador de lluvia de polen. IPE

**REFERENTES FEMENINOS**

Interpretando lo que dice el polen fósil, la ciencia reconstruye los cambios de vegetación que hubo en el pasado. Pero antes hay que entender la relación entre la vegetación actual y el polen, por lo que las investigadoras Graciela Gil Romera y Penélope González-Sampériz hacen inventarios de flora en torno a los captadores de lluvia de polen.

Rostros como los suyos se asoman desde los 27 paneles de la exposición ‘¿Hay una científica en la sala?’ que, hasta el 11 de febrero, puede visitarse en el Espacio Tránsito del Centro de Historias de Zaragoza, como parte de la celebración del 11F, Día de la Mujer y la Niña en la Ciencia.

«Es absolutamente necesario ofrecer referentes femeninos del mundo de la ciencia a la sociedad actual, y a los jóvenes en particular». Este es el convencimiento que llevó a idear este proyecto a Penélope González-Sampériz, investigadora del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE) y vocal en la Comisión Mujeres y Ciencia del CSIC. En 1990 no había ni una sola investigadora en el IPE. Actualmente, de los 20 integrantes del personal investigador de plantilla del IPE, 6 son mujeres. Entre ellas su directora, Yolanda Pueyo.

La muestra, que refleja la situación actual de la mujer en el mundo de la investigación y las aportaciones que realizan al mismo las

mujeres del IPE, lleva itinerando desde marzo de 2017; más de 2.000 estudiantes de ESO y Bachillerato de nueve IES de Zaragoza y Huesca la han visitado ya. Muchos de ellos «se han sorprendido de la movilidad que se refleja en las trayectorias de las investigadoras, de su variada formación, de las numerosas actividades que conlleva esta profesión e incluso de que muchas de ellas compaginen sus trayectorias profesionales con la maternidad». Además, los más curiosos han enviado preguntas videograbadas a las investigadoras que más les han interesado y ellas les han respondido del mismo modo (twitter.com/IPE\_CSIC).

**LAS PRIMERAS DOCTORAS EN CIENCIAS**

Pero otras mujeres abrieron camino. El jueves 1 de febrero, a las 19.00, se inaugura en la Casa de la Mujer la exposición ‘Las primeras doctoras en Ciencias (1929-1930)’, cedida por la Facultad de Ciencias. La protagonizan mujeres como Ángela García de la Puerta, Jenara Vicenta Arnal Yarza y María Antonia Zorraquino Zorraquino, brillantes alumnas de la Universidad de Zaragoza que defendieron sus tesis doctorales entre los años 1929 y 1930, primeras doctoras en Ciencias Químicas de la universidad española. Además, las integrantes de la plataforma 11F presentarán los actos programados.

TERCER MILENIO

**PARA APRENDER >PROGRAMAR PARA RESOLVER PROBLEMAS**

**DESDE PEQUES** Linda Liukas ideó ‘Hola, Ruby’ (Destino Infantil & Juvenil) para que niños y niñas a partir de 6 años puedan introducirse en la lógica de la programación y la entiendan como una herramienta para solucionar cualquier tipo de problema. A través de las aventuras de Ruby, una niña con una imaginación desbordante, y de los ejercicios que propone el libro, los más pequeños aprenderán conceptos básicos de la programación.



**PARA SABER >¿A CUÁNTAS CIENTÍFICAS PODRÍAS NOMBRAR?**

**SUS PREFERIDAS** Estudiantes de 5º y 6º de Primaria de 18 centros educativos han elegido a sus científicas favoritas. Los chicos y chicas realizaron ilustraciones, cómics y obras con diversos materiales a partir de lo que aprendieron e investigaron sobre las científicas, con la ayuda de sus profesores. Los trabajos que aparecen en ‘Mi científica favorita’ (Icmat) fueron escogidos mediante un concurso llevado a cabo a principios de 2017.

