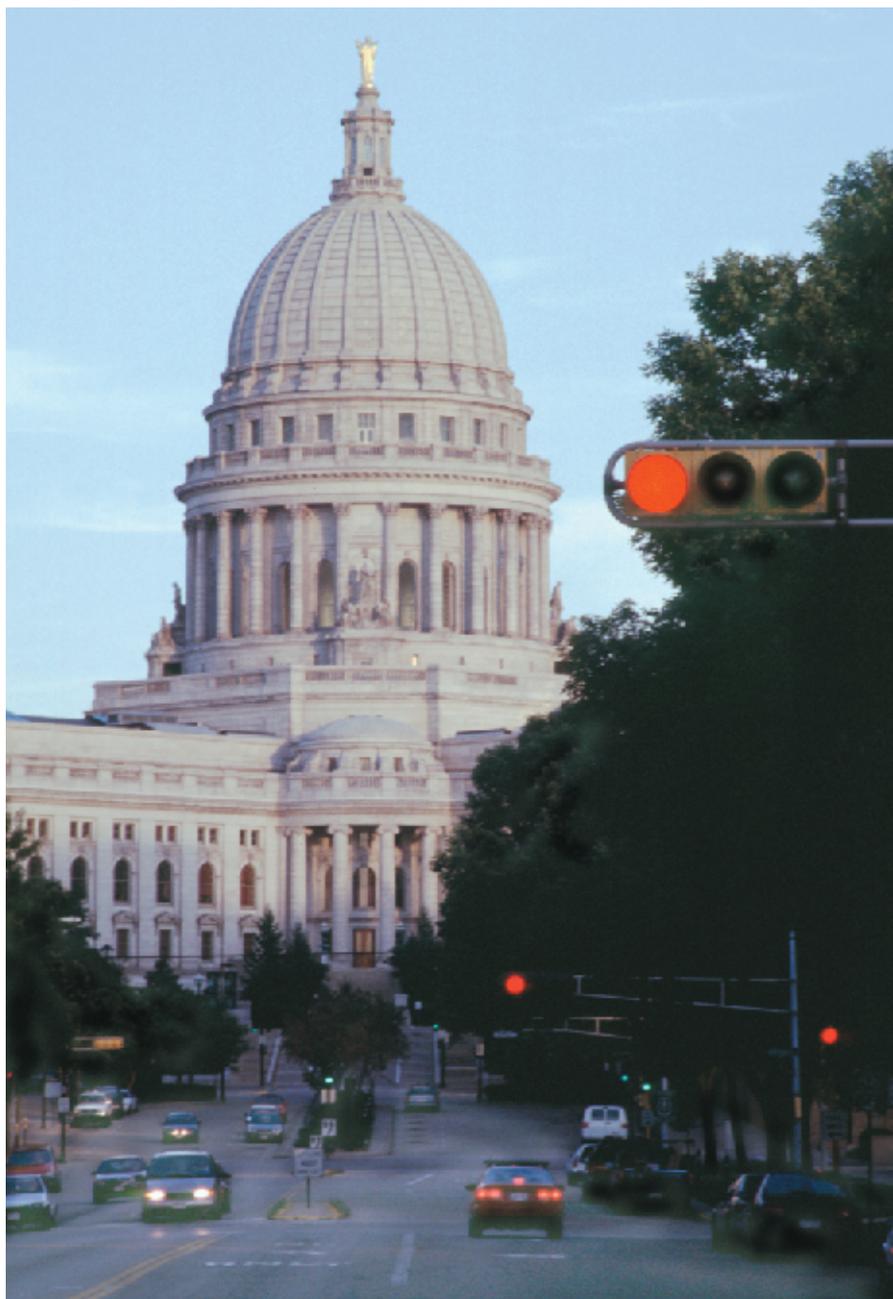


EXPLOREMOS el Nanomundo

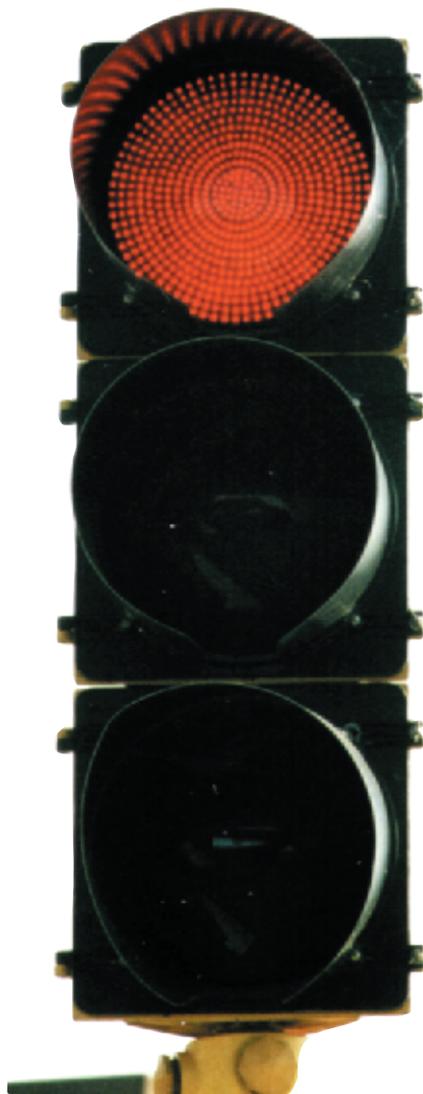
Kit de Actividades

**George C. Lisensky • Karen J. Nordell • S. Michael Condren
Cynthia G. Widstrand • Diana Malone • Arthur B. Ellis**

El nanomundo – la escala del átomo – se encuentra reduciendo aproximadamente un billón de veces más las más pequeñas dimensiones que usamos cotidianamente. Para comprender el concepto de que una billonésima parte es una milésima de una milésima, de una milésima, consideremos esta vista del edificio del Capitolio en Wisconsin. La distancia desde la parte más alta del edificio hasta la luz roja del semáforo, que aparece en la fotografía, es de aproximadamente 1,000 metros o un kilómetro.



Si nos movemos mil veces más cerca al semáforo, a sólo un metro de distancia, esto es lo que observamos.



A la distancia de un metro del semáforo podemos ver que la luz roja está hecha de cerca de mil fuentes pequeñas de luz, llamadas diodos emisores de luz, o LEDs por sus siglas en inglés. Estas pequeñas fuentes de luz con filtros rojos están hechas de semiconductores eléctricos y están comenzando a reemplazar las lámparas o bombillas estándares de luz incandescente. Los semáforos con LEDs requieren menos energía que las lámparas incandescentes y no necesitan ser reemplazados tan a menudo. También son más seguros porque pueden continuar operando aún si algunas de las luces LED individuales llegasen a fallar.

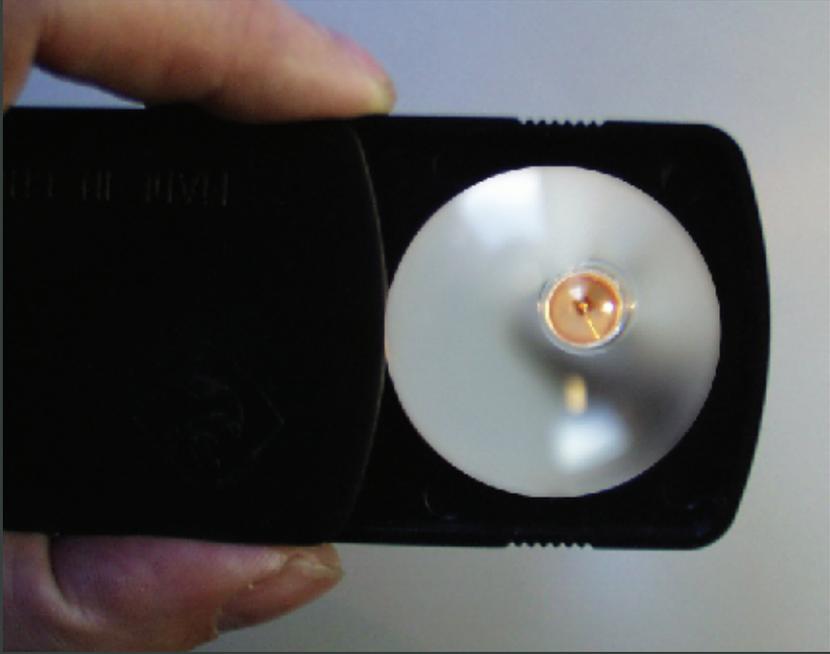
Si nos acercamos mil veces más al semáforo, a la distancia de un milímetro, podemos ver más claramente un solo LED.



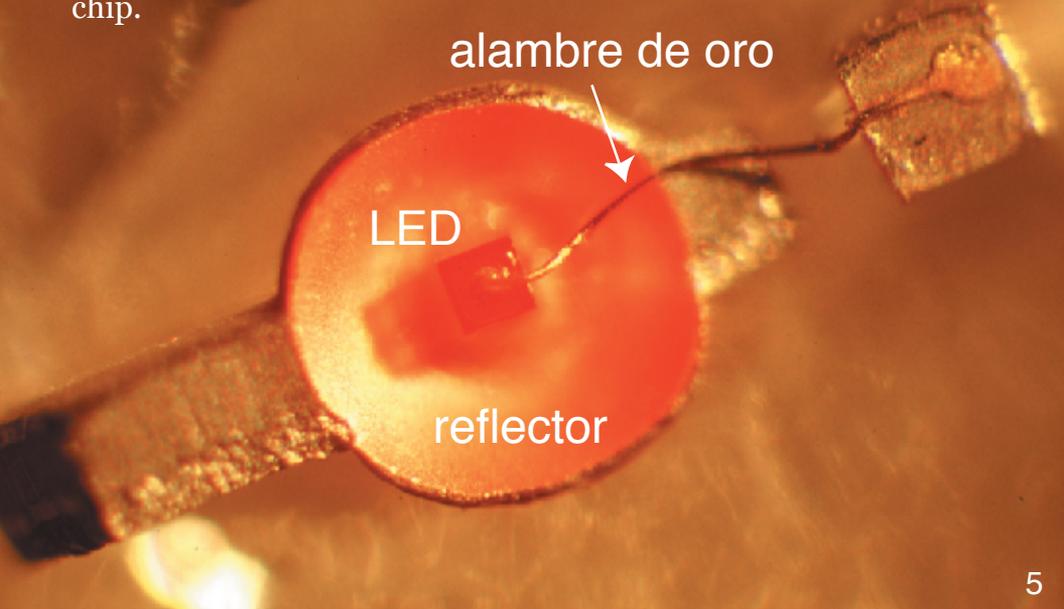
El kit que acompaña este panfleto incluye un LED y un llavero con una pequeña linterna LED. Si tú presionas el interruptor de la pequeña linterna, el LED emitirá una luz roja.



También incluye una lente de aumento de mano o lupa. Si examinas con la lupa el LED individual o el de la pequeña linterna, observarás un diminuto chip cuadrado montado en una copa brillante (reflector).

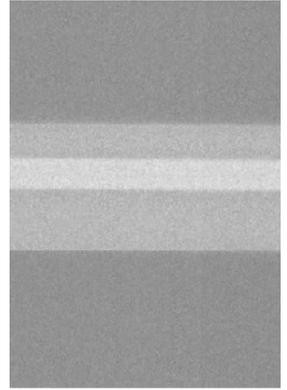


Visto a través de un microscopio, el LED es el chip cuadrado en el centro de la imagen. Mide menos de medio milímetro de longitud; un alambre de oro hace el contacto eléctrico con la superficie del chip.

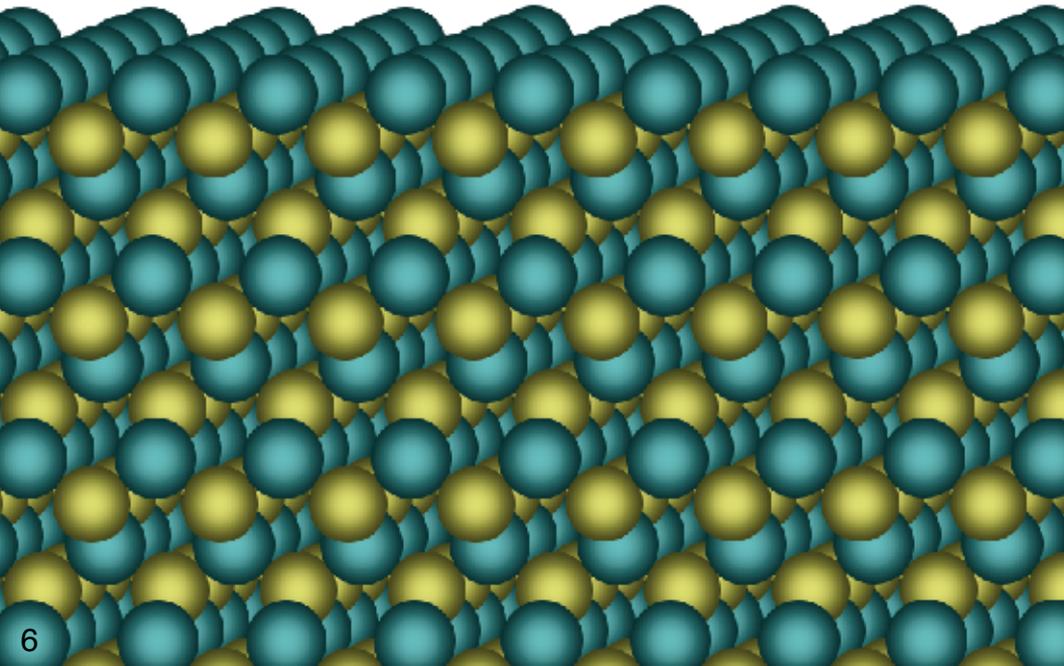


Acercándonos mil veces más, a la distancia de una millonésima de un metro –un micrómetro o micrón- podemos apreciar la construcción misma del chip LED.

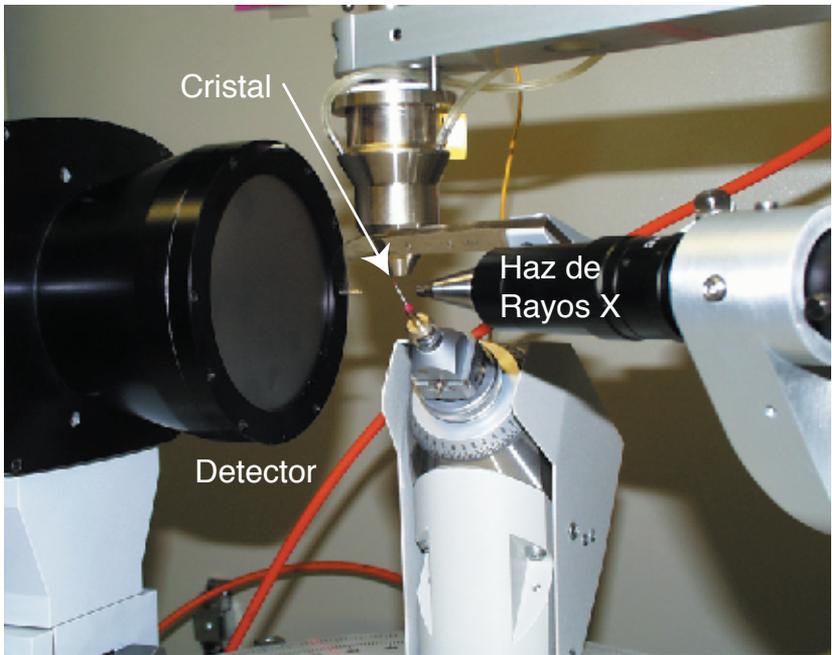
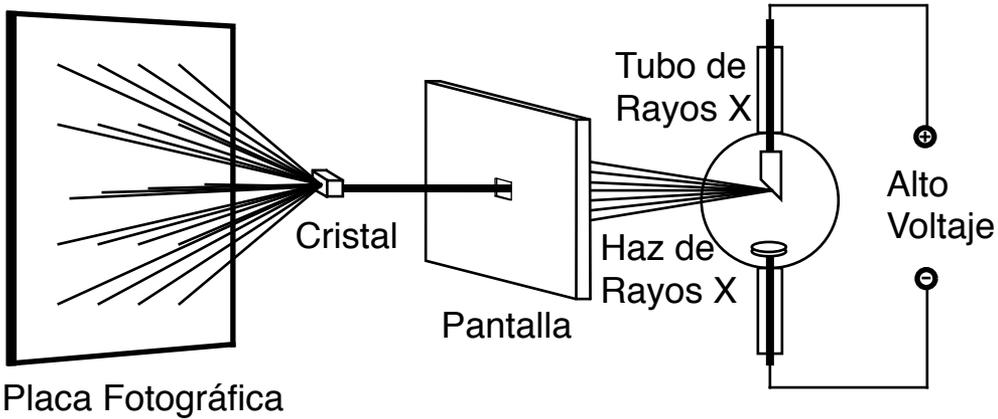
Una clase especial de microscopio que usa electrones para obtener la imagen (microscopio electrónico) nos revela que el chip está hecho de varias capas, como un emparedado. Estas capas, construidas con diferentes combinaciones de átomos, reflejan la habilidad técnica de preparar materiales añadiendo virtualmente una por una varias capas atómicas. Este control exquisito de clase y número de átomos usados para formar las capas del chip LED permite fabricar LEDs de cualquier color, tal como el rojo de la luz de su linterna LED. Las clases de átomos que se usan para controlar el color de la luz emitida por un LED se discutirán más adelante en la página 27.



Acercándonos finalmente mil veces más cerca, a una distancia de una billonésima de un metro, o sea un nanómetro, hemos entrado al nanomundo. Esto representa una longitud de más o menos media docena de átomos acomodados de extremo a extremo. Cada una de las esferas de colores que vemos abajo representan una de las dos clases de átomos en un LED común construidos con arseniuro de galio (GaAs).



¿Cómo percibimos la organización de los átomos individuales en el nanomundo? Históricamente, sólo disponíamos de un método indirecto para ver los átomos de un sólido como un semiconductor: la emisión de rayos de alta energía llamados rayos X sobre el semiconductor. El rayo o haz es dispersado en patrones de difracción y de estos patrones es posible inferir la organización atómica.



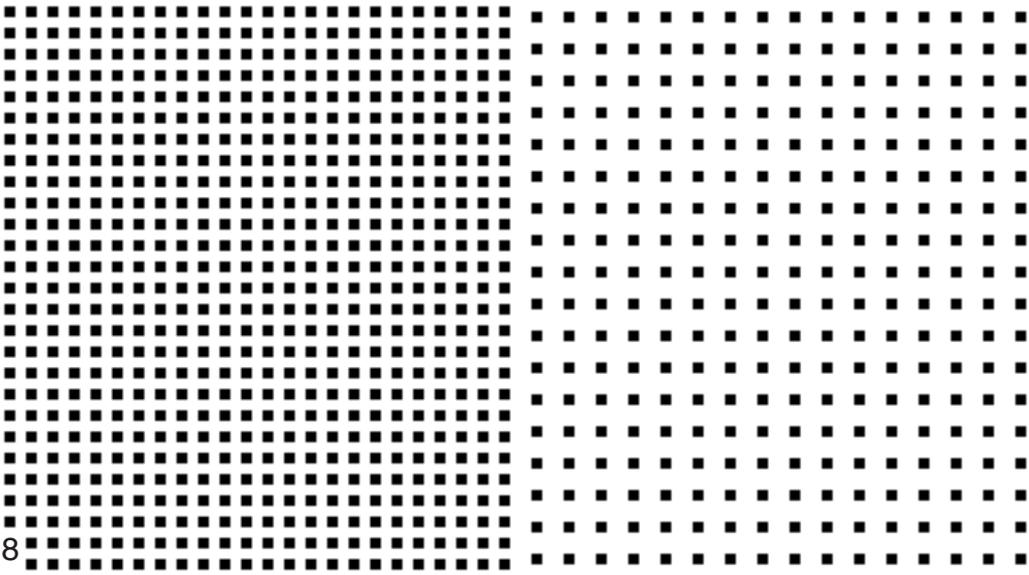
Exploring the

OR
LD

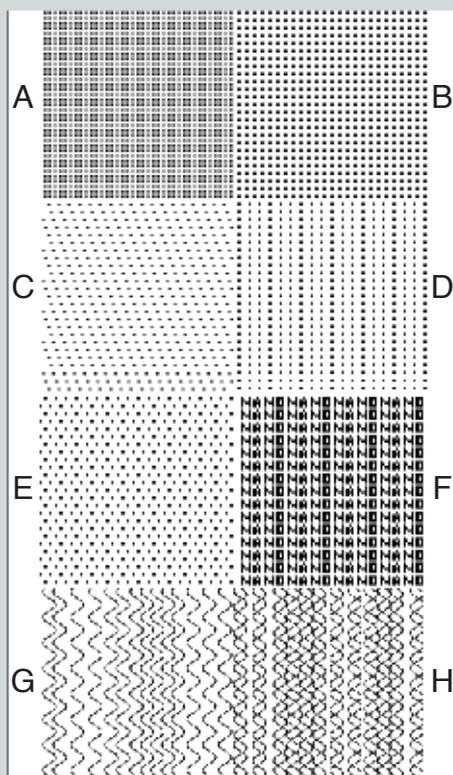
ction Slide

Vamos a hacer un experimento de difracción relacionado usando la luz roja de su LED (más segura que los rayos X) y la diapositiva que se incluye con este folleto. Toma la diapositiva y observa sus características usando la lupa.

Podrás reconocer los 8 arreglos que se muestran en la siguiente página. Veamos los primeros dos arreglos, A y B, compuestos de puntos en un patrón cuadrado. En el nanomundo estos puntos representan átomos individuales.



Exploring the



NANOWORLD

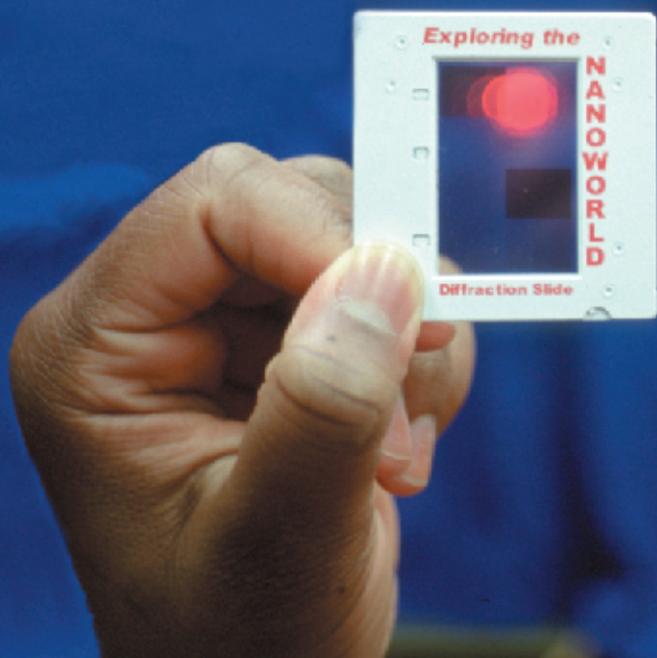
Diffraction Slide

Diapositiva de difracción

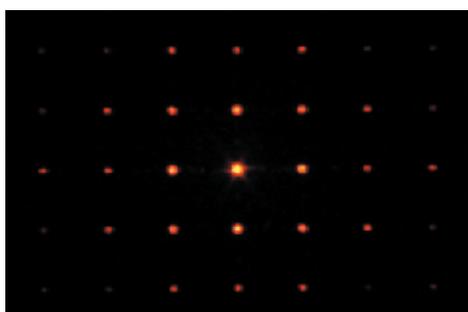


Lleva tu linterna LED a un cuarto oscuro y ponla a unos cuantos metros de distancia con la luz roja apuntando hacia tí.

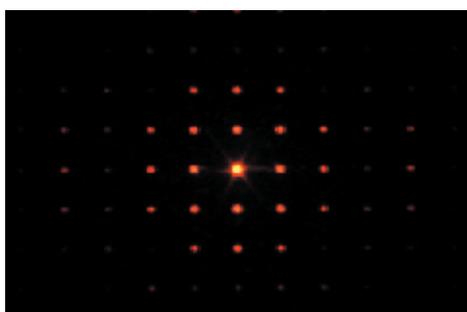
Mira directamente a la diapositiva sosteniéndola cerca, en frente de tus ojos, y observa a través de cada uno de los cuadros de puntos o líneas de ésta, en busca de la luz roja que has colocado a distancia. Observa los patrones de difracción de la luz roja al mirar a través de la diapositiva.



Comparando los arreglos A y B podrás observar que, sorprendentemente, el arreglo A, teniendo un punteado denso, produce un patrón de difracción de puntos rojos más separados que el arreglo B, el cual está hecho de puntos más separados y produce un patrón de difracción más denso de puntos rojos.

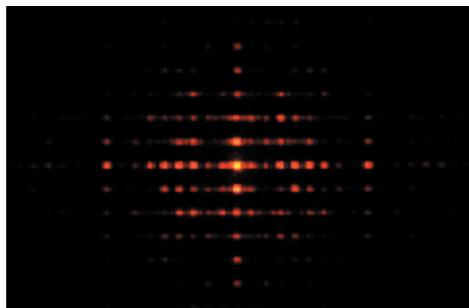
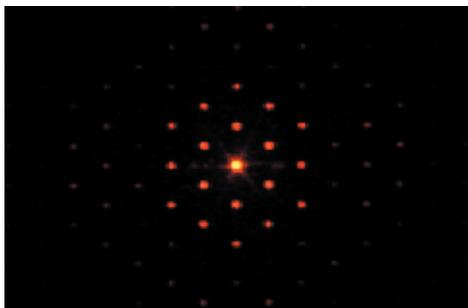


Patrón de difracción
producido por el arreglo A



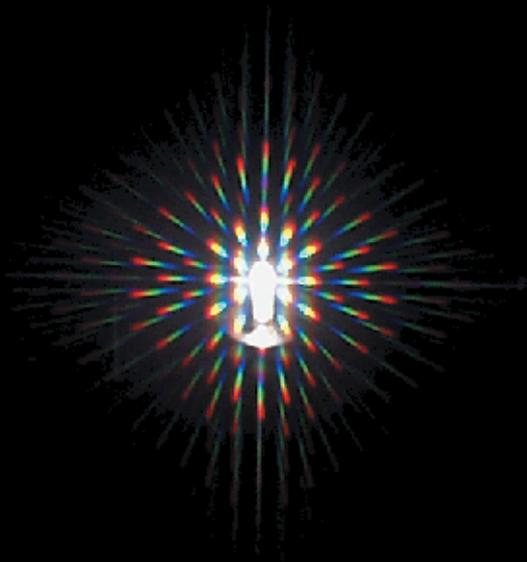
Patrón de difracción
producido por el arreglo B

Para entender cuan general es este concepto, trata de identificar los siguientes patrones de difracción con el arreglo que le corresponde en la diapositiva.

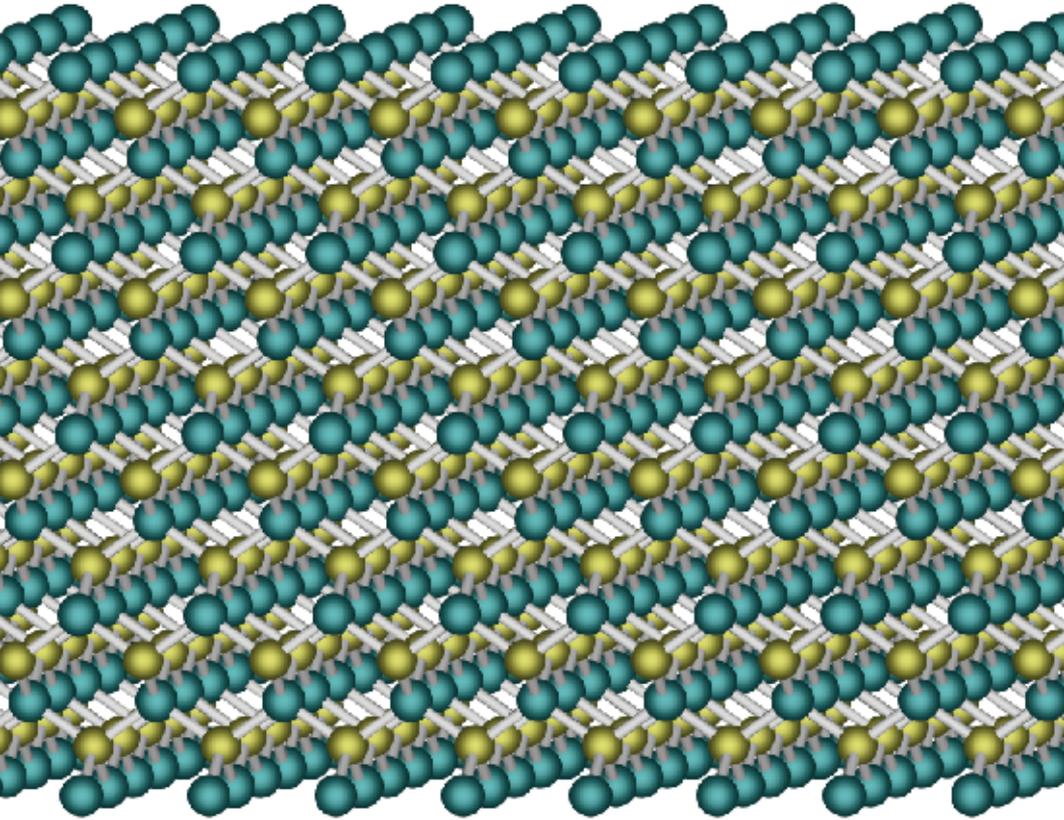


Si identificas que el patrón de difracción de la izquierda corresponde al arreglo E y el de la derecha corresponde al arreglo F, ¡estarás en lo correcto! *Usando la lupa podrás ver que en el arreglo E cada punto está rodeado por otros seis puntos en un hexágono.* Esta también es la organización de los átomos en el alambre de oro de tu linterna LED y en otros metales comunes tales como el cobre. *Usa tu lupa para descubrir que el arreglo F está hecho con la palabra “NANO” en lugar de puntos.* Esto demuestra que cualquier patrón repetitivo de figuras puede producir un patrón de difracción diferente.

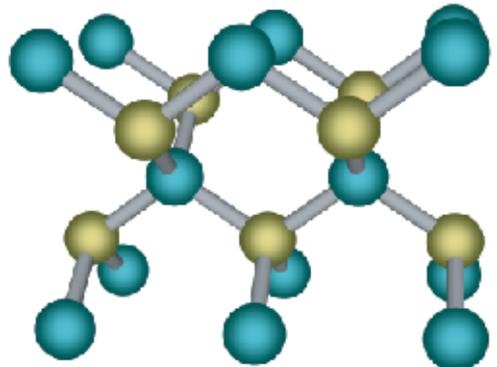
Tú puedes intentar mirar a una lámpara blanca en la calle a través de tu diapositiva. Observarás cada punto de luz romperse espectacularmente en un arco iris de colores. Esto demuestra que diferentes colores son afectados en forma diferente y que el tamaño del patrón de difracción cambia de igual forma. ¿Cuál es el color que más se difracta?



Experimentos de difracción como éste pero empleando rayos X condujeron al modelo de la organización atómica en semiconductores usados para fabricar los LEDs. El modelo se muestra en una forma idealizada en la figura de abajo; las esferas representan átomos y las barras representan los electrones que mantienen a los átomos cerca unos de otros, en estado sólido.



Debido a que los átomos son tan pequeños se requiere un gran número de ellos (billones y billones de ellos) en tu LED. La ilustración de arriba muestra sólo una fracción minúscula de ellos. De igual forma que el patrón en el papel de pared puede ser representado por una pequeña porción del mismo, el arreglo de átomos en una LED puede ser representado por una pequeña unidad repetitiva como se muestra a la derecha.



Ya hemos reducido la longitud de nuestra escala a través de un factor de un billón, desde la vista cercana del semáforo, el cual podemos ver en muchas esquinas de las calles, hasta la nanoescala o escala del nanómetro, que está en todas partes.



kilómetro

(1,000,000,000,000 nanómetros)



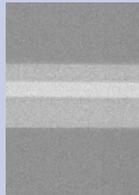
metro

(1,000,000,000 nanómetros)



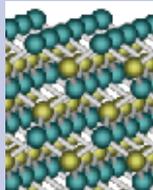
milímetro

(1,000,000 nanómetros)



micrómetro

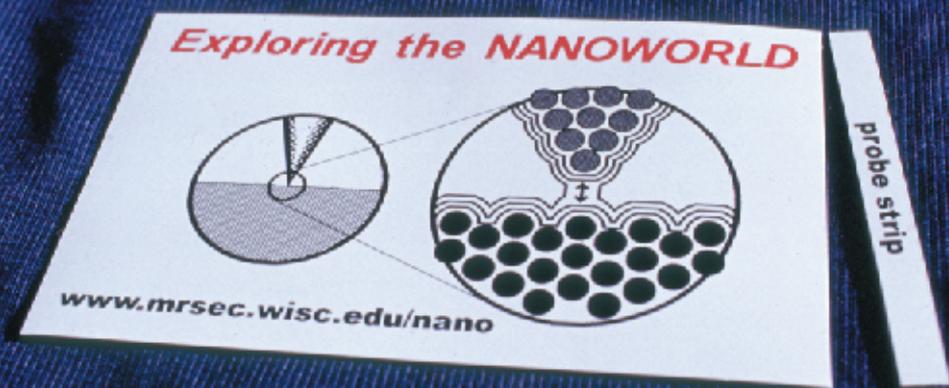
(1000 nanómetros)



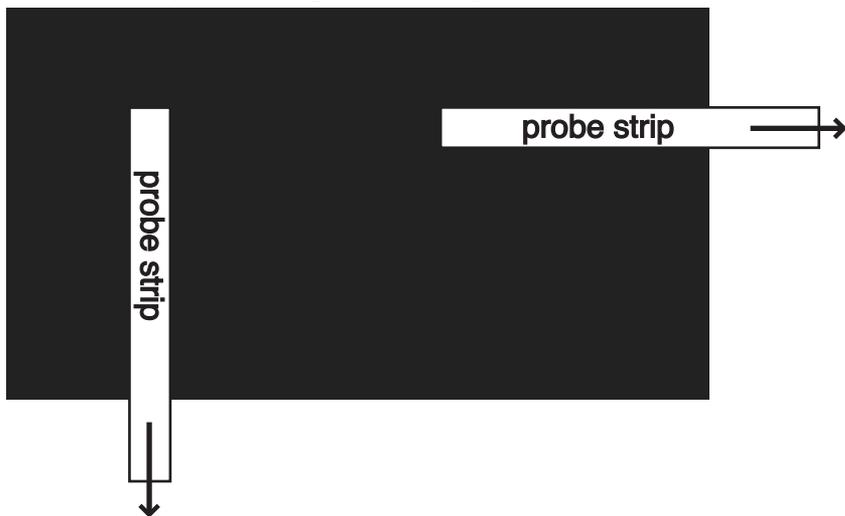
nanómetro

Hoy podemos observar directamente los átomos individuales que componen el nanomundo usando métodos tales como microscopios de sonda de barrido o rastreo (“scanning probe microscope”). Un método común para ver los átomos de una superficie consiste en pasar cuidadosamente la punta de un sensor sobre la misma.

Para demostrar cómo funcionaría tal experimento, toma el imán de refrigerador que se adjunta con este folleto. Note que el imán ha sido cortado parcialmente al lado derecho; esto nos permite separar la tirilla del lado derecho llamada "probe strip", como se muestra en esta figura. Una vez que la tirilla de prueba ha sido removida, estamos listos para comenzar el experimento.



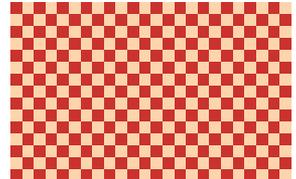
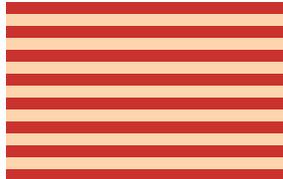
Primero, voltea el imán por el reverso (superficie que no tiene dibujo) con el lado oscuro hacia arriba. Ahora trata de arrastrar la tirilla de prueba (usando el lado negro en contacto con la superficie negra del imán) en las dos direcciones perpendiculares que se muestran, y nota lo que sientes y escuchas.



Probablemente recuerdes que los imanes tienen un polo positivo (o norte) y otro negativo (sur). El polo positivo de un imán se atrae con el polo negativo del otro. Por el contrario, dos imanes con polos iguales se repelerán.



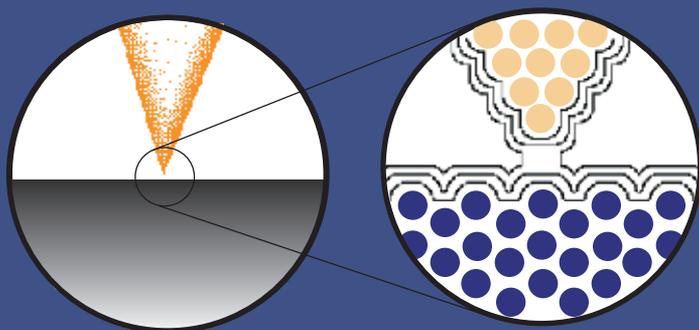
Conociendo estas características de los imanes, puedes decidir, de acuerdo a lo que sientes y escuchas al interactuar con ellos, cuál de las tres disposiciones de polos magnéticos en las figuras de abajo se presenta en el lado negro de tu imán.



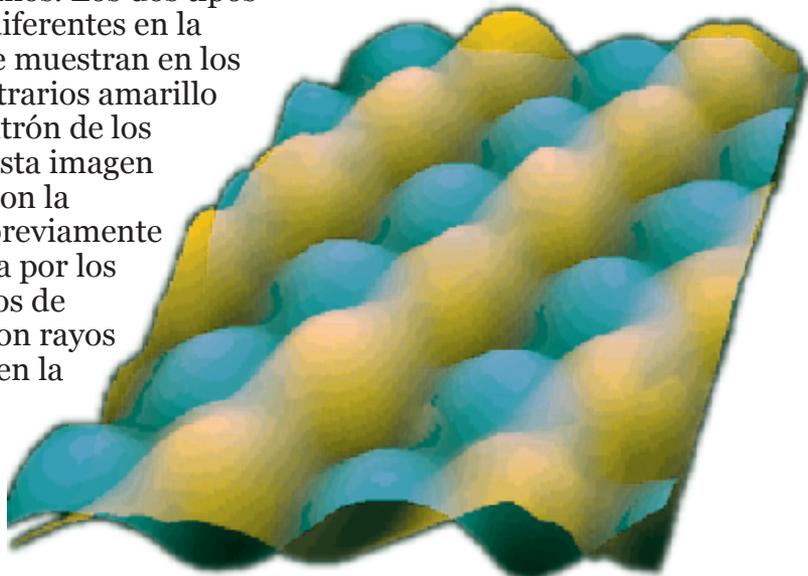
En el patrón rojo de la izquierda hay sólo una orientación del campo magnético y la tirilla de prueba experimentará la misma fuerza en cualquier dirección en la que se deslice sobre el imán. En el diagrama del centro, el campo magnético está distribuido en franjas, así que apreciarás cambios al pasar la tirilla por un polo positivo o negativo alternadamente en una dirección pero no en la otra. En el patrón magnético sugerido en el patrón de la derecha los polos magnéticos están distribuidos como en un tablero de ajedrez y la tirilla experimentaría polos alternos en las dos direcciones que atraviesan el imán.

Si escogiste la opción del medio, ¡estás en lo correcto! Has realizado exitosamente un experimento que te permite visualizar una superficie con una fuerza.

Imagínate ahora una punta de prueba que sea tan aguda que termine en un sólo átomo. Cuando una punta como ésta se desliza sobre una superficie, en movimientos del tamaño atómico, habrá diferencias en la fuerza detectada por la punta de prueba a medida que se acerca o aleja de la superficie de los átomos. En el dibujo de abajo, el diagrama de la izquierda ilustra la punta de prueba cerca de lo que parece una superficie lisa. El diagrama de la derecha expande esta vista punta-superficie para resaltar los átomos en la punta (círculos claros) y en la superficie (círculos oscuros) y revela que en la escala atómica, la nanoescala, la superficie es irregular. Cuando la punta de prueba se desplaza a lo largo de la superficie, la fuerza magnética que experimenta (representada por las líneas onduladas) presenta variaciones y puede ser usada para hacer un mapa que identifique la distribución de los átomos de la superficie.



Cuando se condujeron experimentos similares en la superficie de un semiconductor usado para hacer LED chips, se observaron dos tipos de átomos. Los dos tipos de átomos diferentes en la superficie se muestran en los colores arbitrarios amarillo y azul. El patrón de los átomos en esta imagen concuerda con la estructura previamente determinada por los experimentos de difracción con rayos X descritos en la página 12.



Las puntas del tamaño atómico utilizadas en microscopía de sonda de barrido pueden ser usadas no sólo para obtener imágenes de los átomos. Bajo ciertas condiciones nos permiten inclusive levantarlos y depositarlos en posiciones predeterminadas, lo cual nos da la habilidad para manipular el nanomundo.

En esta era de la nano-arquitectura, se utilizan con más frecuencia puntas sensoras hechas con átomos de carbono. El carbono tiene una habilidad natural para formar hexágonos, tal como en láminas de grafito. Otra forma de carbono usa un patrón de 60 átomos distribuidos en hexágonos y pentágonos para producir una molécula con la forma de una pelota de balompié (fútbol). A esta forma se le denomina: "buckyball" (la pronunciación más cercana sería: bokibol), en honor al arquitecto Buckminster Fuller.

También es posible producir tubos de átomos de carbono, los cuáles semejan láminas de grafito enrolladas formando un cilindro. Estos nanotubos de carbono pueden ser utilizados como puntas sensoras o como nano-pinzas para posicionar átomos individuales o grupos de átomos.

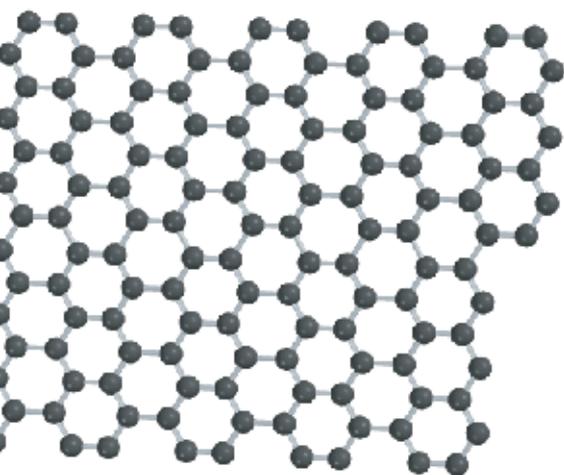
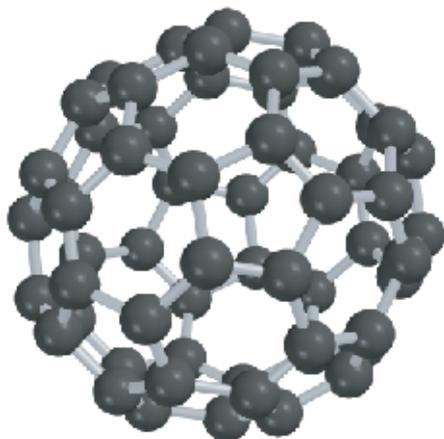
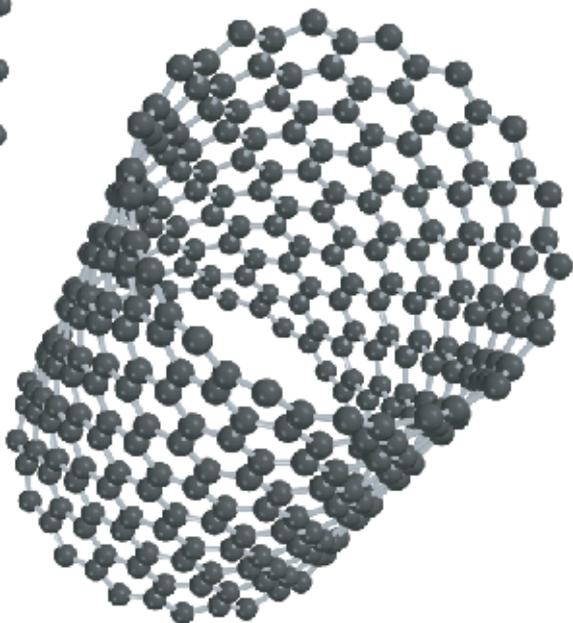


Lámina de Grafito



Buckyball de 60 Átomos de Carbono



Nanotubo de Átomos de Carbono

¿Con esta capacidad emergente de ensamblar átomos, qué estructuras nos gustaría crear en el nanomundo? ¿Qué tal “materiales inteligentes” que respondan en una forma predecible a cualquier cambio en el ambiente, tales como los cambios de temperatura?

Un ejemplo de tales materiales es el “metal con memoria”, el cual es una combinación de átomos de níquel y titanio.

Para demostrar cómo funcionan estos materiales inteligentes, toma el alambre pequeño que se adjunta y dóblalo delicadamente (el plástico al final del alambre cubre los extremos agudos). Luego, sosteniendo un extremo FIRMEMENTE, sumerge la porción doblada del alambre en un vaso de agua bien caliente. Observa el alambre saltar a su forma recta original y ten cuidado con las gotas de agua caliente.

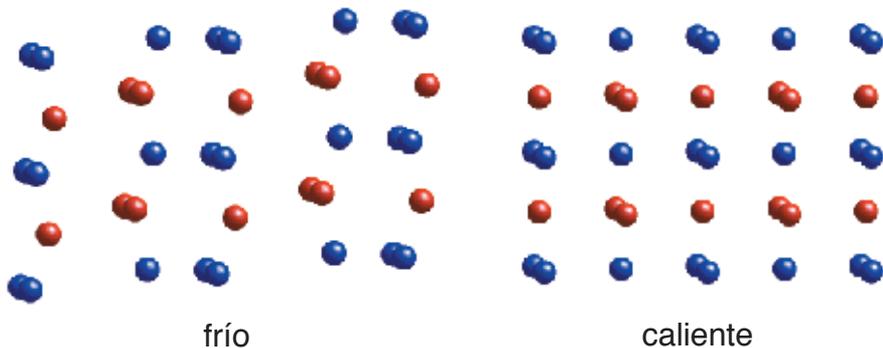
Sumergir



Remover

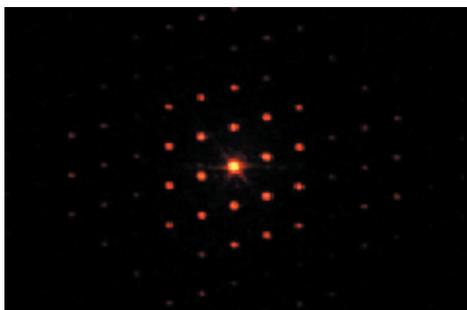


El origen de este fenómeno tan notorio es un sutil ballet atómico, en el cual los átomos del metal usan la energía del agua caliente para cambiar sus posiciones. La sutileza de este cambio está representada abajo por las diferentes distribuciones de átomos de níquel (azules) y átomos de titanio (rojos), que ocurren cuando el alambre de metal está a temperatura ambiente (figura de la izquierda) y luego al calentarlo (figura de la derecha).

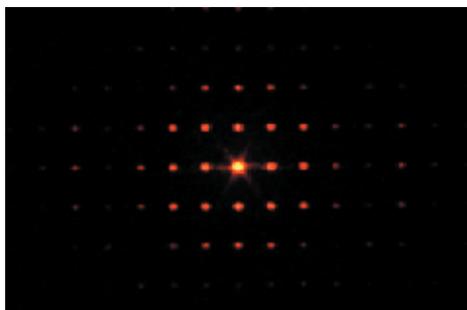


¿Cómo sabemos que los átomos se mueven? Los experimentos de difracción nos dicen que los átomos se mueven en la nanoescala y que la estructura atómica se transforma.

Tú puedes obtener una idea acerca de cómo los patrones de difracción cambian examinando los arreglos C y D en la diapositiva, los cuales representan distribuciones idealizadas de los átomos a temperatura ambiente y cuando se calientan, respectivamente. Si miras ahora a tu LED alternando a través de los arreglos C y D de la diapositiva, podrás observar los patrones de difracción cambiar de una forma a otra.

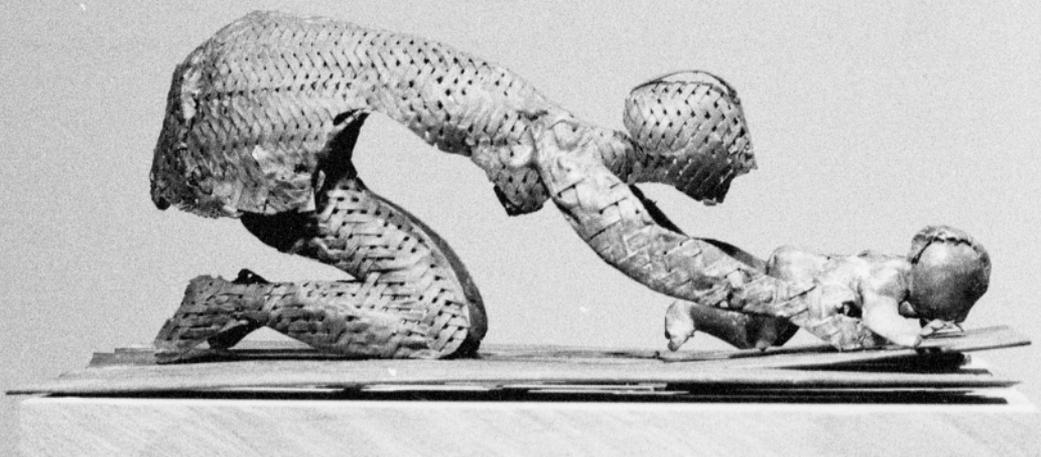


Patrón de difracción producido por el arreglo C



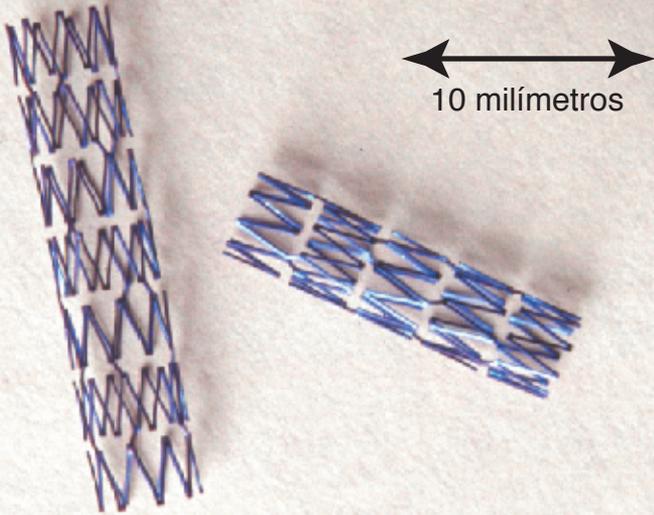
Patrón de difracción producido por el arreglo D

Los materiales inteligentes se usan actualmente en varios productos interesantes. Por ejemplo, hay esculturas hechas con metal con memoria, tal como muestra la ilustración: a baja temperatura la madre y su hijo se inclinan hacia abajo.



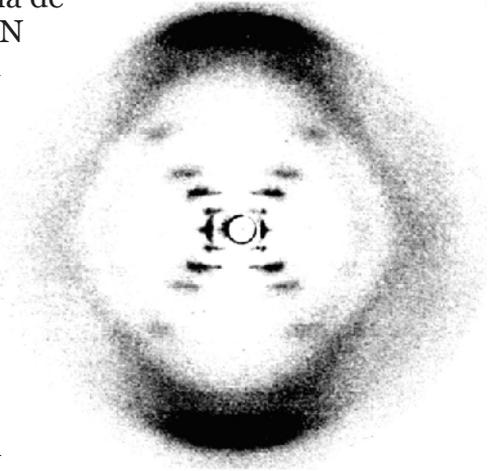
Una vez que la temperatura aumenta, sin embargo, los átomos del metal con memoria se mueven y el resultado es que la madre levanta el bebé! Al enfriarse, la escultura regresa a su forma original.

Debido a que esta clase de metal es biocompatible, puede ser usado en dispositivos para contrarrestar la estenosis vascular (estrechamiento de los vasos sanguíneos). Este dispositivo se muestra en la figura de abajo y se usa para mantener los vasos sanguíneos abiertos. También, es posible usar metal con memoria para los alambres de los arcos dentales o frenillos empleados en ortodoncia para ejercer una presión uniforme sobre los dientes. Otro uso comercial de este metal son los marcos de anteojos que pueden regresar a la forma original si son deformados.



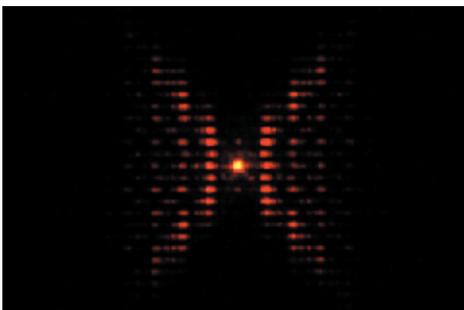
¿Qué otros usos puedes imaginar para el alambre con memoria?
Una idea interesante es fabricar componentes en la nanoescala hechos de este material con memoria: ¡cualquier daño puede ser revertido simplemente aplicando calor!

En busca de ejemplos del nanomundo que han revolucionado la historia de la medicina, pensemos en el ADN (DNA en sus siglas en inglés), la “cadena de la vida”. El ADN es una molécula larga y delgada (como un hilo o una cuerda). La determinación de la arquitectura del ADN como dos cadenas entrelazadas de átomos, conocida como la doble hélice, se logró gracias a los experimentos de difracción de los rayos X en la década de 1950. A la derecha se muestra el patrón de difracción original determinado por Rosalind Franklin.

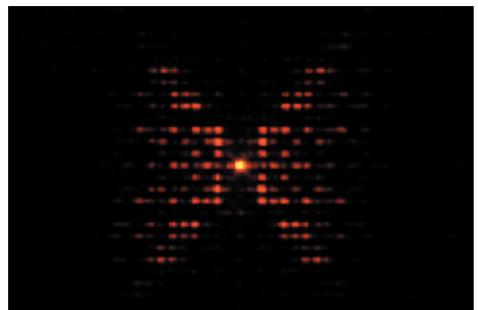


Puedes apreciar algunas de las características claves de este patrón de difracción usando los arreglos G y H en su diapositiva. Notarás que al arreglo G contiene líneas onduladas separadas, representando sólo una de las cadenas de átomos del ADN; mientras al arreglo H contiene pares de líneas onduladas entrelazadas, representando la doble hélice.

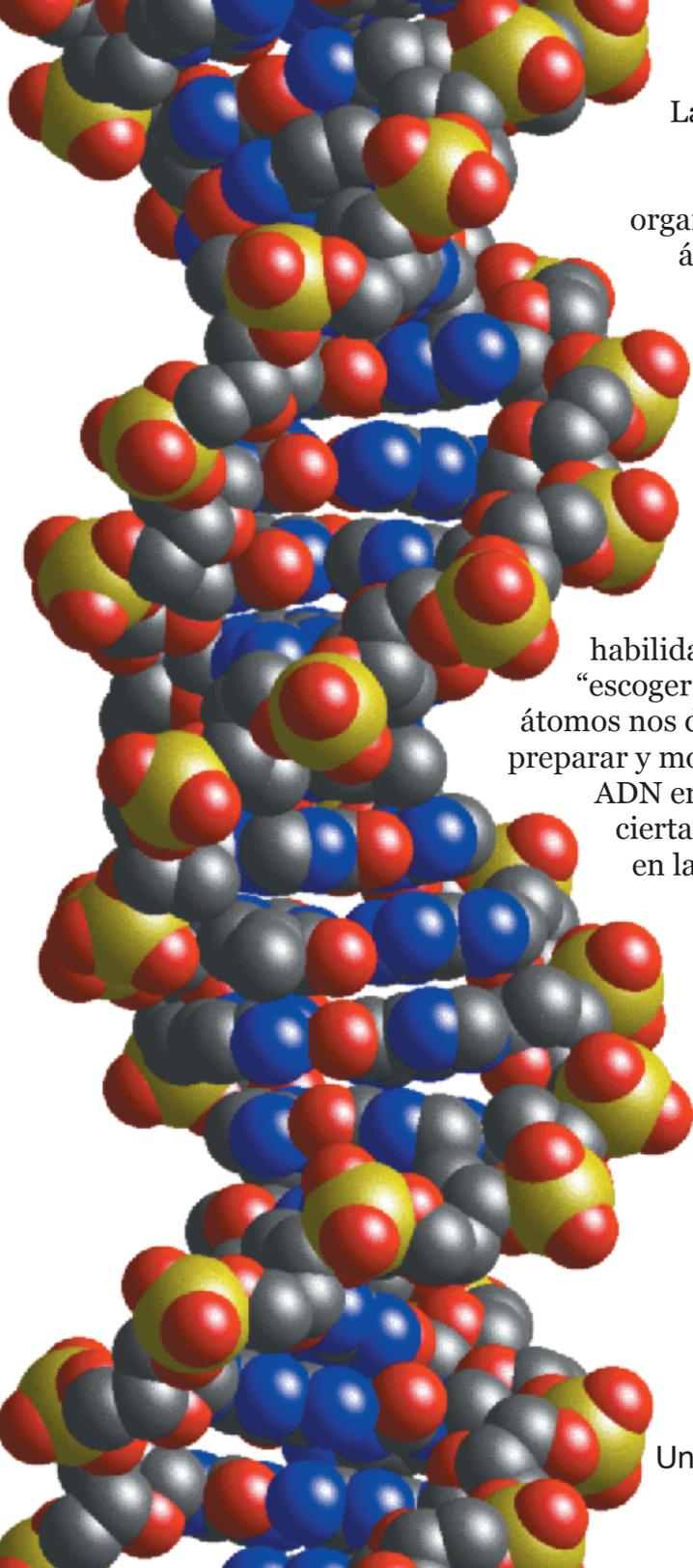
Si miras hacia la luz roja en la linterna de LED, usando los cuadros inferiores de la filmina, de la misma forma que lo hiciste en el experimento previo, podrás ver cómo la doble hélice puede ser identificada analizando las diferencias entre los patrones de difracción de los arreglos G y H.



Patrón de difracción producido por el arreglo G



Patrón de difracción producido por el arreglo H



Las dos cadenas de la doble hélice están conectadas por una organización especial de átomos. De hecho, la secuencia de estas conexiones es la responsable de nuestras características como individuos y cómo éstas son heredadas a través de generaciones de familia. Nuestra habilidad, en desarrollo, de “escoger y ubicar” grupos de átomos nos dará la capacidad de preparar y modificar regiones del ADN en la nanoescala para ciertas aplicaciones como en la ingeniería genética o en los diseños de medicamentos. Usando ésta tecnología podríamos inclusive ser capaces de construir computadoras basadas en el ADN.

Una molécula de ADN

Para continuar nuestra historia, regresemos a las luces LED. Estos y otros dispositivos relacionados ya se han aplicado al transporte, la comunicación y las pantallas de señales luminosas. Algunos ejemplos en el transporte, más allá del semáforo, incluyen: las luces de freno y las luces direccionales (página 24) de los vehículos, los indicadores de velocidad (página 25) y señales de precaución (página 30).



**SPEED
LIMIT
35**

38
YOUR SPEED

La construcción de los LEDs puede ser modificada para producir diodos láser. Estos se usan comúnmente como señaladores láser, pero también pueden ser utilizados para transmitir información. Combinando la luz de un diodo láser con una fibra óptica, creando así una especie de conducto para transmitir la luz eficientemente, nos permitiría enviar información a través de distancias extensas.

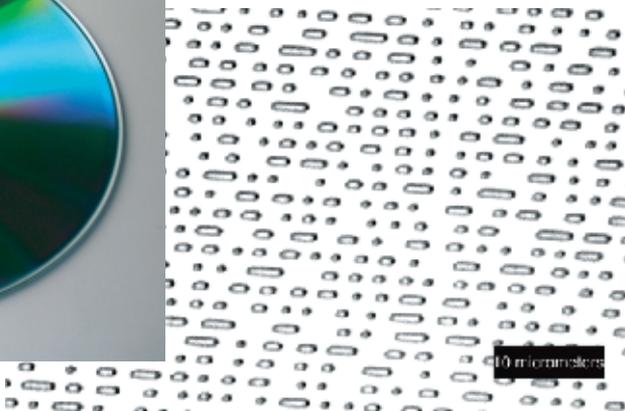


Intenta sostener tu pequeña linterna LED encendida en uno de los extremos de la fibra óptica, luego dobla suavemente la fibra hacia tí y observa la luz emerger en el otro extremo.

Se usan también diodos láser para leer discos compactos (CD) musicales y para almacenar datos computarizados (digitales).



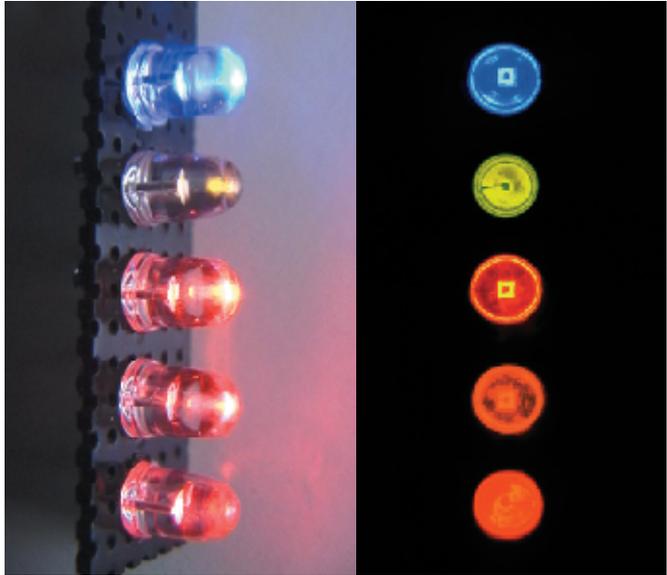
Los puntos en un CD guardan datos en forma digital.



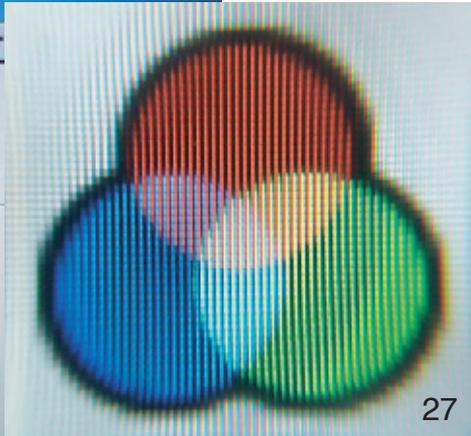
Usa la diapositiva de difracción para mirar a una fuente de luz blanca distante (tal como se muestra en la página 11). ¿Qué color se aleja menos del centro de la fuente luminosa? La luz láser azul puede leer detalles más pequeños que la luz láser roja que actualmente se usa; o sea que un CD podría contener más datos o música.

Los LEDs hechos de GaP y GaAs han estado disponibles por muchos años y producen luz roja, naranja, amarilla y verde. Los LED de GaN recientemente diseñados generan luz azul lo que posibilita la creación de un rango completo de colores.

	C	N
Al	Si	P
Ga	Ge	As
In		



Los televisores y los monitores de computadoras combinan luces roja, verde y azul para crear todos los colores del espectro de luz visible. Por ejemplo, combinando rojo y verde producimos amarillo; combinando rojo, verde y azul producimos luz blanca. *Intenta observar una pantalla de televisión o un monitor de computadora con la lupa que se adjunta para ver si puedes identificar estas combinaciones de colores.*



El patrón detrás de estas palabras es parte de una pantalla de mensajes (la cual se observa abajo) construida con miles de LEDs. Variando la cantidad de luz contribuida por cada LED, roja, verde o azul, se puede cambiar o animar el mensaje. La habilidad para combinar la luz de los LEDs en esta forma ha estimulado la construcción de anuncios gigantes y pantallas de video compuestas en algunos casos de millones de LEDs.



Un grupo de LEDs formando un elemento de la imagen o "píxel"



Esta organización de LEDs rojos está diseñada para ser atornillada en la base de una bombilla de luz convencional. Los LEDs blancos pueden conducir finalmente al reemplazo parcial o total de la iluminación incandescente tradicional en hogares y lugares de trabajo.



La clave para todos estos asombrosos desarrollos tecnológicos es nuestra habilidad para imaginar y manipular el nuevo y excitante nanomundo. ¡El futuro es brillante y diminuto!

Una Guía de Campo para el Nanomundo

¿Puedes encontrar estos objetos en tu vecindario?

LEDs en luces de semáforo

rojas

amarillas

verdes

Indicadores de luz LED

Linternas LED

Juguetes que contengan LEDs

Zapatos con luces LED

Aditamentos hechos

de metal con memoria:

Marcos para gafas

Alambres ortodónticos

Duchas para el baño

Un artículo de periódico o revista sobre el nanomundo

Luces traseras LED de

Automóviles

Autobuses

Camiones

LEDs en luces de

Bicicletas

Señales de salida

Tableros de anuncios

Grandes pantallas de luces

Señalador láser de estado sólido

Tocabos para CD

Escultura del ADN

Grafito

Una esfera hecha de pentágonos y hexágonos

Una cúpula



La foto magnificada del fondo muestra una galleta o bandeja conteniendo miles de LEDs. Luego se les añadirá un contacto eléctrico al círculo en el centro de cada LED (ver página 5).

Algunas Fuentes Adicionales

- La dirección electrónica del imán para nevera: <http://mrsec.wisc.edu/nano>
- *On the Surface of Things: Images of the Extraordinary in Science* por Felice Frankel y George M. Whitesides; San Francisco: Chronicle Books, 1997.
- *From Light to Life* Videotape por Amand Lucas
<http://www.vega.org.uk/series/vrs/vrs7/index.php>
- *A Drop of Water* por Walter Wick; New York: Scholastic Press, 1997.
- *Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom*, por I. Amato; National Science and Technology Council, 1999
<http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Public.Brochure>

Información

Para preguntas y comentarios por favor contacte a Arthur Ellis (ellis@chem.wisc.edu) o George Lisensky (lisensky@beloit.edu). ©2004 por el Board of Regents del University of Wisconsin System. Derechos reservados.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer por la ayuda y el estímulo brindados a: National Science Foundation Materials Research Science and Engineering Center on Nanostructured Materials and Interfaces, Nicholas Abbott, Charles Abrams, Muiyiwa Awoniyi, Susan Babcock, Kate Beckman, Jonathan Breitzer, Dean Campbell, Herman Chiu, Dan Dahlberg, Olivier Deschamps, Randall Feenstra, Chia Goh, Eric Hellstrom, Alben Ivanisevic, Robert Joynt, Thomas Kuech, David Larbalestier, Max Lagally, Diana Lisensky, Amand Lucas, John Nate, Anne-Marie Nickel, Douglas Powell, Xiaorong Qin, Roland Saito, Steve Stockman, Donald Stone, Russell Tobe, Becky Torrisi, Joseph Volpert, Paul Ziemer, Advertisers Press, Affirmative Industries, ChemLinks, Columbia Design, Electro-Tech's, Institute for Chemical Education, King's College, LumiLEDs, SCIMED Life Systems, Programa PREM de University of Puerto Rico-Mayaguez, University of Wisconsin-Madison.

¡Las aventuras del Nanomundo te aguardan adentro! Explora cómo podemos alcanzar el reto de “ver” átomos, ensamblándolos en una variedad de nuevas estructuras y controlando sus propiedades para desarrollar nuevas tecnologías.

Este kit de actividades contiene un manual a color y los suministros que necesitas para hacer muchos experimentos:

- **Un Diodo Emisor de Luz (LED)**
- **Una linterna LED**
- **Una lupa**
- **Una diapositiva de difracción**
- **Un imán de refrigerador**
- **Metal con memoria**
- **Fibra óptica**



Es un producto del Materials Research Science and Engineering Center de la University of Wisconsin-Madison, establecido por la National Science Foundation para la investigación en la formación, caracterización y comercialización de materiales en la nanoescala o sea la escala de átomos individuales. Nuestro objetivo es la comprensión fundamental de temas de gran relevancia tecnológica y transmisión de este conocimiento al público en general.