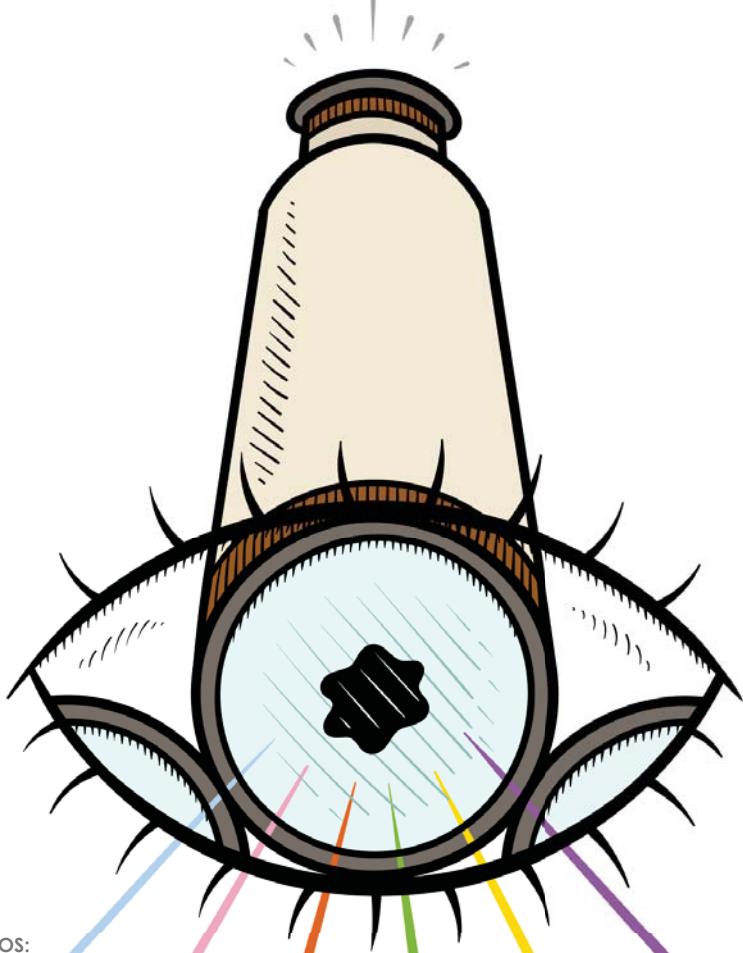


Microscopía electrónica

**CRÉDITOS:**

MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (MUNCYT)
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

DIRECCIÓN

Fernando Luis Fontes Blanco

AUTOR

Pedro A. Serena Domingo - Investigador Científico
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

EDITA

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)

ILUSTRACIÓN

Curro Oñate/Wearbeard

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Advantia, Comunicación Gráfica, S.A.

IMPRESIÓN

Advantia, Comunicación Gráfica, S.A.

Depósito legal: M-4139-2024

NIPO: 151240048

e-NIPO: 151240053

Publicación incluida en el programa editorial de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del año 2024.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado: <https://cpage.mpr.gob.es>

Síguenos en:



www.facebook.com/muncyt



@muncyt



@muncyt_es



www.muncyt.es

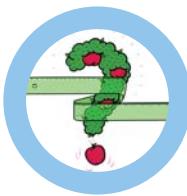
Microscopía electrónica

Todos tenemos en mente la imagen idealizada de un científico o un investigador. Para muchos es el de un hombre de edad avanzada, de largo pelo cano, despeinado, vestido con una bata blanca y con una probeta en la mano, pero para mí es el de un hombre o una mujer en bata tras el ocular de un microscopio. Ello se debe a que el primer científico que conocí en mi vida fue mi abuelo, microbiólogo e investigador veterinario. Las imágenes que conservamos en la familia de su faceta profesional son siempre trabajando con el microscopio, primero con el óptico y luego con el electrónico. El mundo desconocido de lo diminuto, de lo que queda fuera del alcance de la vista, atrapa como poco la imaginación infantil por eso uno de los días más felices de mi vida fue el día que me regalaron mi primer microscopio óptico. Bajo sus lentes puse todo tipo de pequeños animales, plantas y minerales que muchas veces me revelaban detalles desconocidos que provocaban mi asombro. El mundo de la microscopía electrónica, que va mucho más allá de las limitaciones impuestas por las lentes ópticas, quedaba fuera de mi alcance, pero esas imágenes procedentes de microscopios electrónicos consistentes en pólenes, bacterias, virus o pequeños seres microscópicos mostrados como gigantescos animales prehistóricos siguieron capturando mi imaginación hasta la edad adulta.

Por eso cuando, recién incorporado a la dirección del MUNCYT, el equipo del museo me planteó el proyecto en el que estaban trabajando y que consistía en acercar al gran público la microscopía electrónica, sus principios físicos y científicos y la importancia de esta para la ciencia universal en general, y la ciencia española en particular, no dudé en apoyarlo y trabajar para hacerlo realidad. Trabajando en este proyecto expositivo he aprendido mucho y me he divertido aprendiendo. Ese es el objeto de estos cuadernos didácticos y experimentales, trasmisir conocimientos de una forma lúdica y atractiva, proponiendo actividades interactivas, para descubrir, experimentar y conocer lo que nos deparan estos conquistadores y exploradores del nanomundo que nos rodea.

Fernando Luis Fontes Blanco
Director del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología

- SOMOS CURIOSOS**
- LA LUZ, LA VISTA Y LOS MICROSCOPIOS ÓPTICOS**
- DE LAS CÉLULAS A LA TEORÍA NEURONAL DE CAJAL**
- COMPONENTES DE LA MATERIA**
- MICROSCOPIOS ELECTRÓNICOS**
- PALPANDO ÁTOMOS**
- LA MICROSCOPIA TE NECESA**
- PIEZAS DE INTERÉS, PARA SABER UN POCO MÁS, SOLUCIONES**



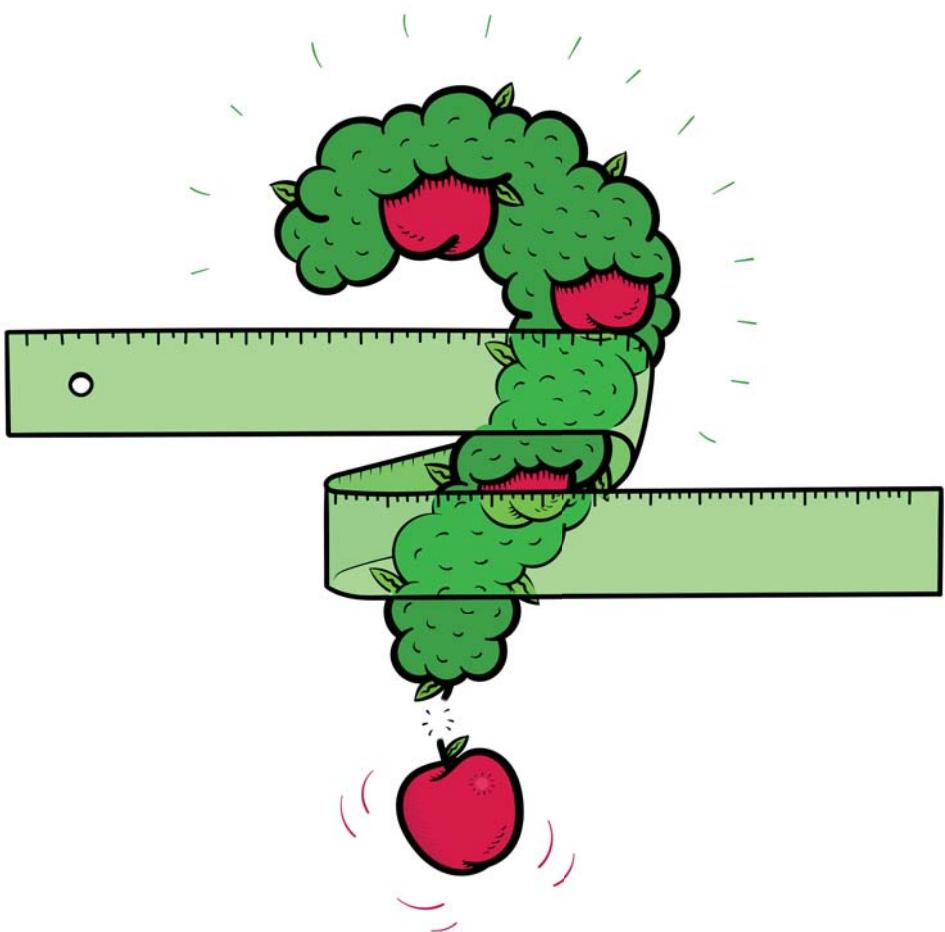
SOMOS CURIOSOS

La ciencia sirve para satisfacer la curiosidad que tenemos los seres humanos, y así explicar la realidad aplicando una metodología que llamamos método científico: observación, toma de datos, relacionar datos, plantear hipótesis, diseñar experimentos, controlar las variables, comunicar los resultados, poner a prueba los mismos, y convertir los conocimientos en aplicaciones. Una parte importante de esta actividad está relacionada con la percepción del entorno utilizando nuestros sentidos, que recogen información que es transmitida al cerebro, donde se interpreta, almacena y usa para tomar decisiones y elaborar nuevos conocimientos.

Cuando observamos el mundo constatamos que los objetos tienen tamaños muy diferentes. Para medir estos tamaños necesitamos establecer unidades de medida consensuadas. La unidad de longitud usualmente manejada en ciencia es el metro. Sin embargo, podemos usar otras unidades auxiliares gracias al uso de ciertos prefijos. Por ejemplo, un metro equivale a 1000 milímetros, un milímetro a 1000 micras o micrómetros, y una micra a 1000 nanómetros. La tabla siguiente muestra los prefijos más habituales empleados en el Sistema Internacional de unidades.

Cantidad	Nombre del prefijo	Símbolo del prefijo
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da

Cantidad	Nombre del prefijo	Símbolo del prefijo
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a



Actividad 1: Un poco de orden

Te proponemos que ordenes de menor a mayor los siguientes objetos o entidades añadiendo un número entre los paréntesis. Indica con el número 1 el más pequeño, con un 2 el siguiente, y así sucesivamente. Añade un asterisco al número para aquellos objetos pequeños que no pueden verse a simple vista.

Ácaro (), Cadena de ARN mensajero (), El monte Everest (), El rascacielos Burj Khalifa (), El Universo (), Electrón (), Galaxia de Andrómeda (), Glóbulo rojo (), Hormiga (), Júpiter (), La Tierra (), Libro (), La Luna (), Motocicleta (), Quark (), Rana (), El Sol (), Un átomo de hidrógeno (), Una locomotora (), Una molécula de glucosa (), Una secuoya gigante de California (), Virus SARS Covid19 ().

Curiosidad. ¿Hay más átomos en 10 g de sal que estrellas en el universo?

Se estima que hay 2×10^{23} estrellas del Universo. Por otro lado, en 10 g de sal podemos encontrar 4×10^{23} átomos (una mitad de cloro y la otra de sodio). En una cucharadita de sal podemos encontrar tantos átomos como estrellas hay en el universo. Por cierto, se cree que en el Universo hay unos 10^{80} átomos. ¡Un enorme número!



LA LUZ, LA VISTA Y LOS MICROSCOPIOS ÓPTICOS

La vista nos permite detectar luz emitida o reflejada por los objetos. La luz es una onda electromagnética (OEM) que se mueve a una velocidad $c = 299.792.458 \text{ km/s}$ en el vacío. Las OEM están caracterizadas por su longitud de onda (λ) o su frecuencia (v), cumpliéndose que $c = \lambda v$. A mayor frecuencia, mayor energía transporta una OEM.

Nuestros ojos poseen células que funcionan como sensores (conos y bastoncillos) traduciendo la señal luminosa en impulsos eléctricos que son transmitidos hasta una región del cerebro, el cortex visual, donde se interpreta la información recibida (●1). Los ojos son órganos sofisticados, pero tienen limitaciones pues objetos muy lejanos o muy pequeños se escapan a nuestra vista. El límite de resolución R de un sistema óptico se define como la distancia mínima por debajo de la cual ya no es posible distinguir la separación entre dos puntos. En el caso del ojo este límite R es de 0,1 a 0,2 mm. Los ojos pueden funcionar mal por diversas causas, requiriéndose el uso de lentillas o gafas que para corregir algunos de estos problemas.

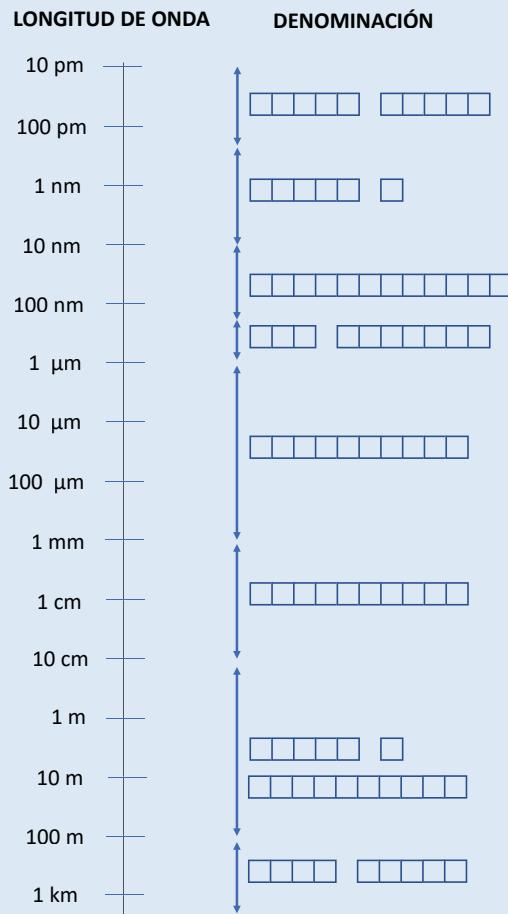


Para ver o resolver objetos muy pequeños el ser humano ha fabricado instrumentos como lupas y microscopios. La palabra microscopio procede del griego *mikros* (pequeño) y *skopeo* (mirar a). El microscopio amplía la imagen de un objeto gracias a varias lentes formando una imagen en nuestros ojos o en un sistema de grabación (fotografía, video). Para ver objetos distantes se desarrollaron catalejos, prismáticos y telescopios.

El microscopio óptico simple, de una lente, fue inventado por Galileo Galilei en 1609. A finales del siglo XVII, Anton van Leeuwenhoek, un comerciante holandés, realizó observaciones de seres microscópicos con sus propios instrumentos. Desde entonces, los microscopios mejoraron continuamente, permitiendo la observación de tejidos, minerales, etc. También se desarrollaron técnicas de tinción para aumentar el contraste de zonas específicas de las muestras. En 1873, Ernst K. Abbe, determinó que la resolución del microscopio óptico es $R \approx 200$ nm, lo que impide resolver objetos de menor tamaño. Se puede decir que a principios del siglo XX los microscopios ópticos habían alcanzado la perfección (•2).

Actividad 2: El espectro electromagnético

Nuestros ojos detectan luz visible cuya longitud de onda se encuentran entre los 400 nm (color azul) y los 700 nm (color rojo), aproximadamente. Sin embargo, hay OEM con longitudes de onda mucho mayores o menores. Escribe en las casillas del gráfico siguiente los nombres de las distintas regiones del espectro electromagnético: "LUZ VISIBLE", "ONDA LARGA", "RAYOS X", "RAYOS GAMMA", "INFRARROJO", "ULTRAVIOLETA", "MICROONDAS", "RADIO Y TELEVISIÓN". (a) ¿Qué radiación es la más energética? (b) ¿La radiación de un horno microondas es más energética que la luz visible?



Actividad 3: ¿Qué aumentos necesito?

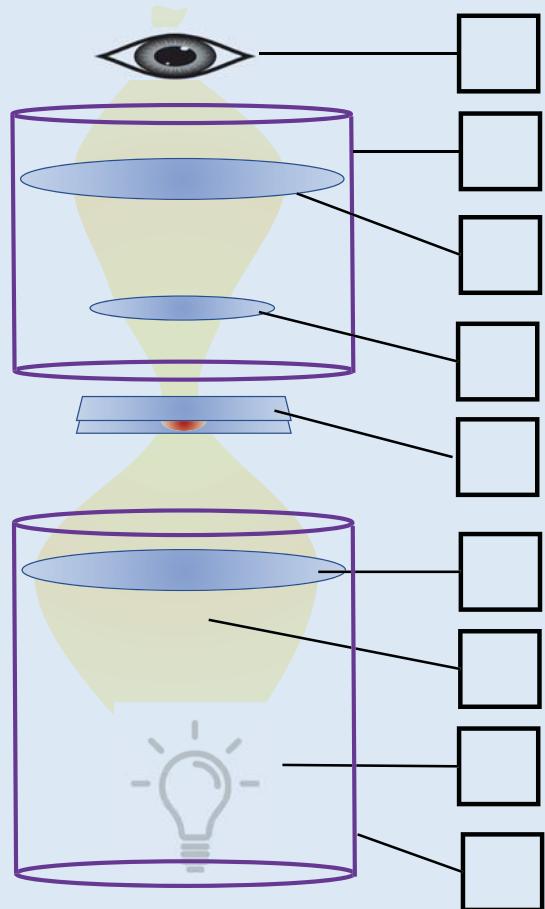
Las lupas y los microscopios ópticos magnifican la imagen de los objetos. Una lupa de 4 aumentos (se usa la notación 4X) hace que un detalle de 1 mm de un objeto tenga un tamaño aparente de 4 mm. Si deseamos que un cabello de 0,08 mm de diámetro aparezca en una fotografía mostrando un diámetro de 4 cm se necesitan $40\text{ mm} / 0,08\text{ mm} = 500$ aumentos. Con los datos de la siguiente tabla calcula los aumentos necesarios para conseguir los tamaños aparentes indicados. Sabiendo que un buen microscopio óptico tiene 2000X aumentos, indica con una estrella aquellos objetos que podrían observarse con dicho instrumento.

Objeto	Tamaño real	Tamaño aparente deseado en una imagen	Aumento requerido
Ácaro Dermatophagoides farinae	0,40 mm	20 cm	
Grano de polen de olivo	80 µm	10 cm	
Bacteria Escherichia Colli	3 µm	10 cm	
Mosca doméstica	6 mm	18 cm	
Virus SARS Covid 2	100 nm	5 cm	
Ribosoma	32 nm	5 cm	
Linfocito T	8 µm	1 cm	
Fullereno	0,7 nm	1 cm	

Actividad 4: El microscopio óptico

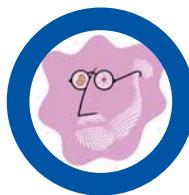
En la figura se muestran las partes de un microscopio óptico. Escribe en cada casilla el número que corresponde a cada una de esas partes usando las pistas de la tabla siguiente.

Número	Parte	Pista
1	TUBO	Elemento cilíndrico en el que se colocan las lentes.
2	HAZ DE LUZ	Sale de la fuente, atraviesa la muestra y llega al ojo del observador.
3	FUENTE DE LUZ	Emisor de la luz que se va a hacer incidir en la muestra.
4	PORRAMUESTRAS CON MUESTRA	Lugar donde se ubica la muestra.
5	LENTE OCULAR	Lente más próxima al observador (ojo, cámara).
6	OJO O SISTEMA DE OBSERVACIÓN	Donde se forma la imagen ampliada.
7	LENTE OBJETIVO	Lente próxima al objeto que se quiere observar.
8	SISTEMA DE ILUMINACIÓN	Parte que contiene la fuente de luz y la lente condensadora.
9	CONDENSADOR	Lente que focaliza la luz sobre la muestra.



Curiosidad. Mujeres pioneras.

A finales del siglo XVII y principios del XVIII, las hermanas Susanna y Anna Lister realizaron importantes contribuciones a la microscopía. Desde su infancia, ambas manejaron los mejores microscopios de su época, clasificaron todo tipo de especímenes y realizaron numerosas ilustraciones. Sin embargo, su contribución fue olvidándose son el tiempo y todo el mérito fue atribuido a su padre, el Dr. Martin Lister. Otro “olvido” injusto de las contribuciones de las mujeres a la ciencia.



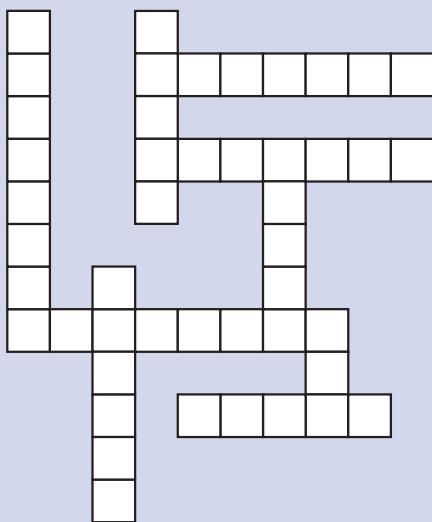
DE LAS CÉLULAS A LA TEORÍA NEURONAL DE CAJAL

Los microscopios ópticos fueron claves para el desarrollo de la teoría celular formulada a mediados del siglo XIX por los alemanes Theodor Schwann, Jakob Schleiden, y Rudolf Virchow. Según esta teoría los organismos vivos están formados por células, unidades estructurales, funcionales y reproductivas básicas de todos los organismos. En especies más complejas, los órganos están formados por tejidos que están constituidos por células de distinto tipo. El interés por estudiar células y tejidos es compartido por la biología y la medicina. La histología es la ciencia que estudia los tejidos celulares.

Santiago Ramón y Cajal (Petilla de Aragón, 1852 – Madrid, 1934), fue el médico español, especializado en histología y anatomía patológica, que propuso que la neurona era la célula que ejercía de unidad estructural y funcional del cerebro. Santiago Ramón y Cajal fue un experto en el manejo del microscopio (●3), en la tinción de tejidos y en la elaboración de ilustraciones de sus hallazgos. Ramón y Cajal realizó grandes hallazgos sobre las retinas de los ojos de vertebrados y sobre las conexiones (sinapsis) entre neuronas. Recibió el Premio Nobel de Medicina en 1906, compartido con Camillo Golgi. En 1907 se convirtió en el primer presidente de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), la institución antecesora del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Actividad 5: El padre de la neurociencia

Coloca las palabras en las casillas del crucigrama según las pistas que se facilitan a continuación. Las palabras pueden ir escritas en cualquier dirección.



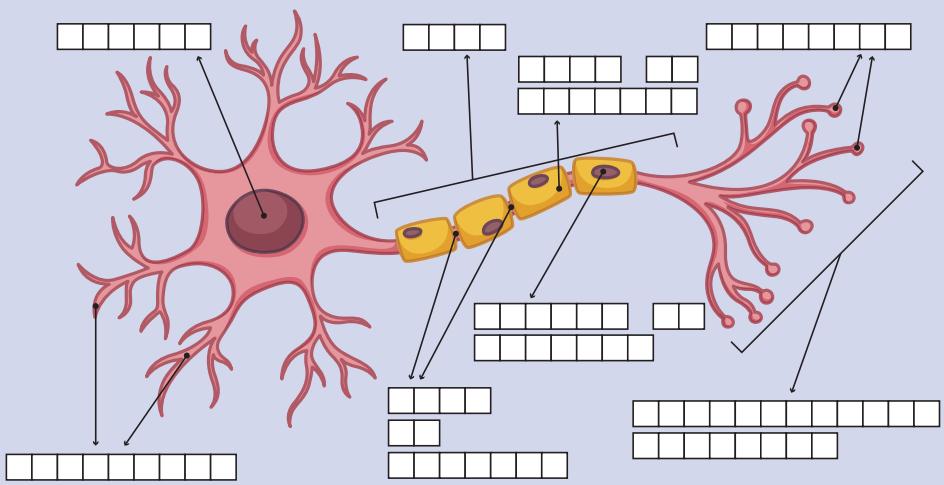
- Nombre del padre de la teoría neuronal.
- Primer apellido de esa persona.
- Su segundo apellido.
- Localidad en la que nació.
- Apellido del científico italiano con la que compartió el Premio Nobel.
- Célula del sistema nervioso.
- Región de conexión entre dos neuronas.
- Órgano que capta imágenes.
- Parte de ese órgano donde se forman las imágenes.

Curiosidad. ¿Cuántas conexiones neuronales hay en el cerebro?

Un cerebro de un ser humano adulto pesa entre 1.300 y 1.400 gramos y contiene unos 100.000 millones de neuronas. Las neuronas presentan ramificaciones que permiten establecer contactos entre unas neuronas y otras en puntos llamados conexiones sinápticas o sinapsis. En un cerebro hay unas 150.000.000.000 sinapsis (!150 billones!). Una neurona tiene un tamaño típico de unas 80 µm, aunque hay algunas excepciones como, por ejemplo, las del nervio ciático que pueden superar el metro. Se estima que nuestro cerebro tiene unos 150.000 km de "caminos neuronales" ¡casi cuatro vueltas a la Tierra!

Actividad 6: Neuronas

Los siguientes términos corresponden a diversas partes de una neurona: "NÚCLEO", "AXÓN", "DENDRITAS", "ARBORIZACIÓN TERMINAL", "SINAPSIS", "CAPA DE MIELINA", "NODO DE RANVIER", "CÉLULA DE SCHWANN". Escribe dichos términos en las casillas correspondientes.





COMPONENTES DE LA MATERIA

A la vez que la biología y la medicina se desarrollaban, otras ramas de investigación como la física avanzaba rápidamente en campos como la electricidad y el magnetismo. En particular se comenzaron a realizar muchos experimentos sobre campos eléctricos y su interacción con la materia usando tubos de vidrio en los que se había practicado el vacío. William Crookes fue pionero en la construcción de tubos de vacío (1). Por su parte, en la química, tras establecerse sus leyes fundamentales, se iba completando la tabla periódica de Dmitri Mendeleiev. Así pues, tanto físicos como químicos estaban interesados en entender la estructura de la materia, basada en el concepto de átomo. Por cierto, la explicación del movimiento browniano dada por Albert Einstein en 1905 permitía tener una evidencia indirecta de la existencia de los átomos.

En 1897, Joseph John Thomson descubre el electrón, usando tubos de rayos catódicos. Estos rayos estaban constituidos por ligeras partículas cargadas negativamente, que más tarde se llamaron electrones, encontrándose que formaban parte de los átomos, siendo unos de los constituyentes fundamentales de la materia.

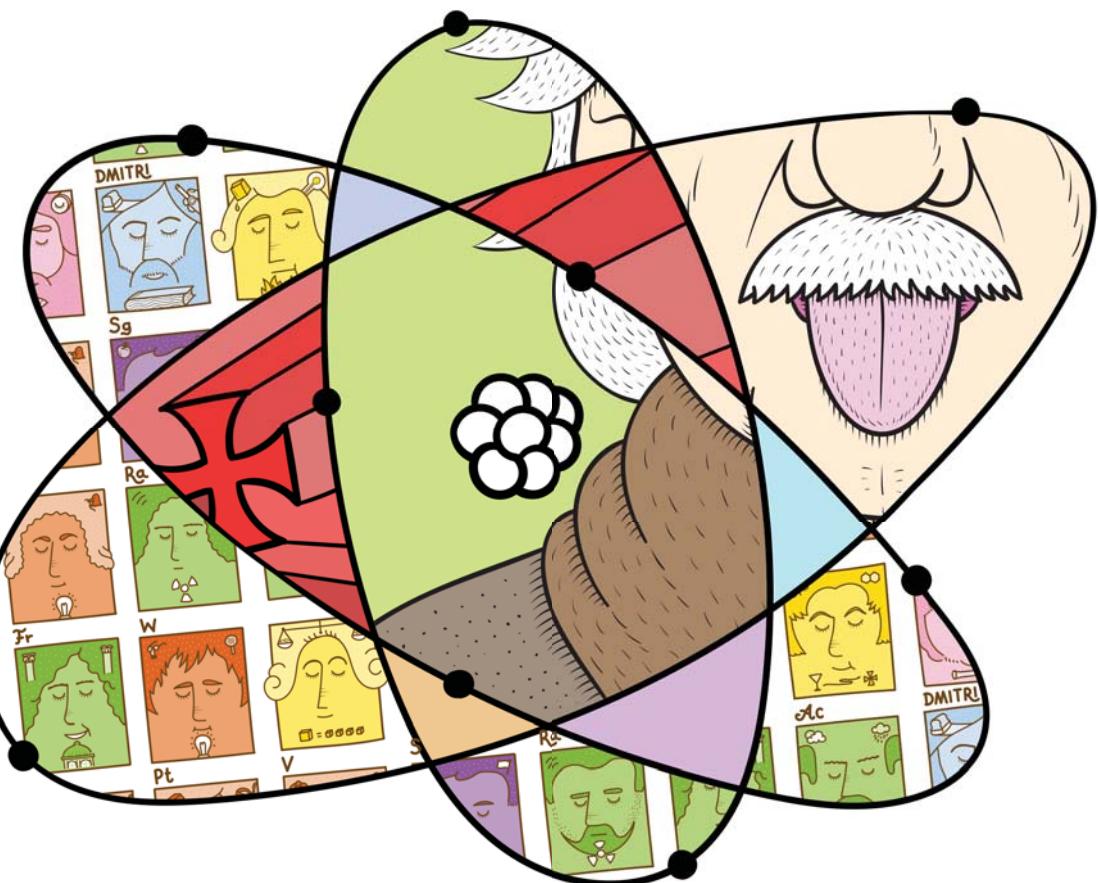
Posteriormente se realizaron nuevos descubrimientos y se propusieron nuevas teorías sobre los átomos, hasta llegar al modelo atómico actual que contiene ideas de la intrigante Mecánica Cuántica. Esta teoría comenzó a perfilarse en 1900 por Max Planck. En el modelo actual, un átomo tiene neutrones y protones agrupados en un diminuto núcleo donde se concentra toda la carga positiva y casi toda su masa, mientras que alrededor del núcleo se encuentra una "nube electrónica" cargada negativamente. Los electrones poseen energías bien definidas (niveles de energía) aunque se comportan simultáneamente como ondas y partículas, siguiendo el Principio de Dualidad Onda-Corpúsculo establecido por Louis de Broglie en 1924. A pesar de estos avances, durante buena parte del siglo XX los átomos escaparon a la visualización directa.

Actividad 7: Personaje escondido

En el texto que acabas de leer han aparecido cinco personajes. Escribe las letras iniciales del apellido de cada uno de ellos. Cada una de esas letras se corresponde con otra según la tabla de transformación siguiente. Una vez averiguadas las 5 nuevas letras, forma con ellas el nombre de pila de un investigador alemán (cuyo apellido comienza por H) quien fue uno de los padres de la Mecánica Cuántica junto a Erwin Schrödinger.

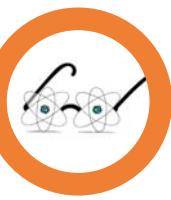
CLAVES / LETRAS DE ENTRADA	
A	B
C	D
E	F
G	H
I	J
K	L
M	N
Ñ	O
P	Q
R	S
T	U
V	W
X	Y
Z	
↓	
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
↓	↓
F	N
W	N
E	A
A	I
I	O
O	D
D	U
U	P
P	Z
Z	E
E	H
H	M
M	L
L	R
R	S
S	V
V	G
G	R
R	J
J	X
X	K
K	T
T	Q
Q	C

Personajes:	Inicial	Clave	
•	→	→	-----
•	→	→	
•	→	→	
•	→	→	
•	→	→	
•	→	→	



Atrévete. Superpoblación de electrones

En una batería de móvil la cantidad de carga que se puede almacenar se suele medir en mAh (mili Amperios hora). Una carga de 1 mAh equivale de 3,6 C. El culombio (C) es la unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional (SI) de unidades. Busca en internet la carga de un electrón. A continuación, busca la capacidad de una batería (de móvil o portátil). Con estos datos calcula los electrones que pueden almacenarse en esta batería. Este número te va a sorprender (aunque no tanto si sabes algo de química y conoces el número de Avogadro).



MICROSCOPIOS ELECTRÓNICOS

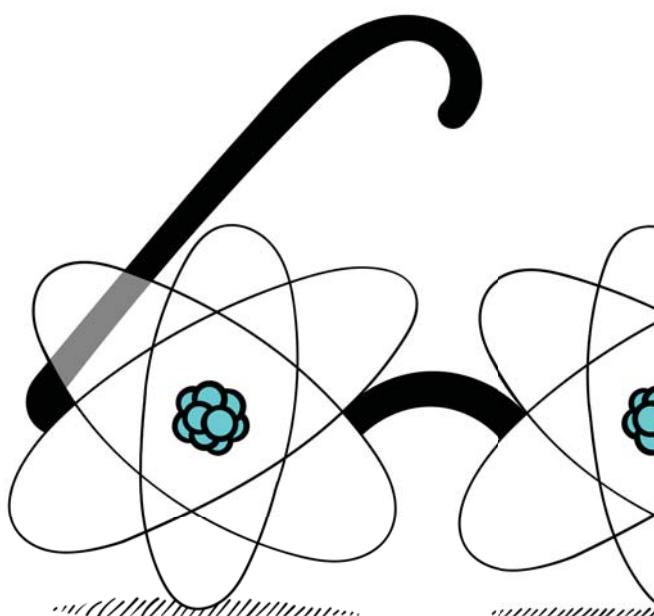
Gigantes para ver lo diminuto

Gracias a su pequeña masa y a su carga negativa, el electrón puede acelerarse y desviarse aplicando campos eléctricos y magnéticos. Una de las primeras invenciones tecnológicas basadas en el uso de electrones y tubos de vacío fue el triodo, ideado por Lee de Forest en 1906. Este dispositivo, inicialmente denominado "Audión" (105) se comporta como una especie de "grifo" que controla el flujo de electrones. Los triodos fueron la base del desarrollo de la electrónica de vacío en la primera mitad del siglo XX.

En 1926, el alemán Hans W. Busch ideó una lente electromagnética, un dispositivo con el que enfocar las trayectorias de los electrones en un punto al igual que una lente de vidrio puede hacer con la luz. En 1929, Ernst Ruska y Max Knoll construyen las primeras lentes electromagnéticas, surgiendo rápidamente la idea de construir un microscopio que usase electrones en lugar de luz. En 1931 y 1934 construyen los dos primeros prototipos de los instrumentos que hoy conocemos como Microscopios Electrónicos de Transmisión (TEM, de las siglas en inglés *Transmission Electron Microscopy*).

Los electrones llegan a alcanzar altas velocidades, por lo que poseen pequeñísimas longitudes de onda (según el Principio de Dualidad Onda-Corpúsculo), y por lo tanto se puede mejorar mucha la resolución, siguiendo la teoría de Abbe. En 1935 los equipos TEM superaron la resolución de los microscopios ópticos y en 1938 se lograron los 10 nm de resolución. En 1939 Siemens diseña el primer TEM comercial y en 1941 la empresa americana RCA puso a la venta un equipo con 2,5 nm de resolución. En 1946, J. Hiller alcanza el nanómetro de resolución. Con estos equipos se pudo explorar la naturaleza con mucho más detalle que con los microscopios ópticos.

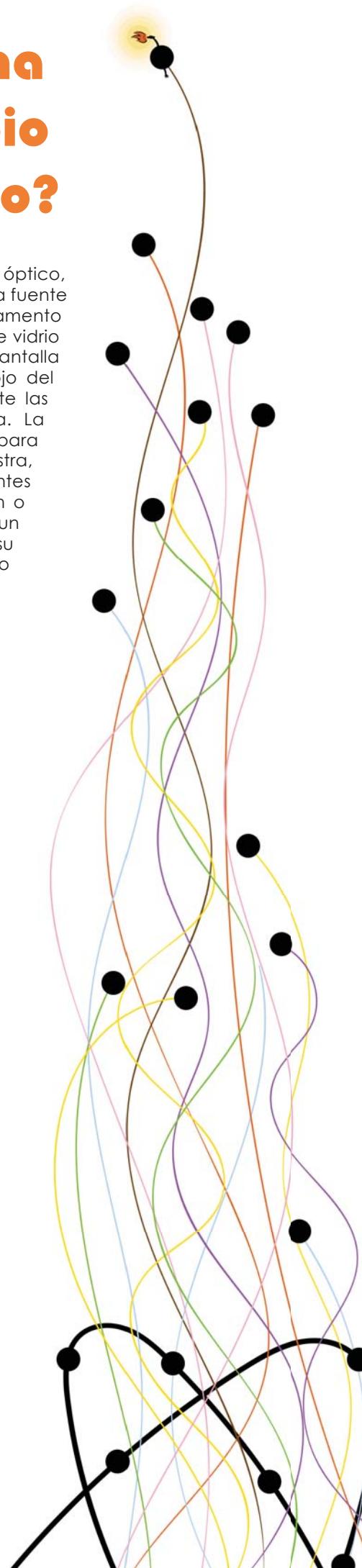
En 1938, Manfred von Ardenne inventó el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, de *Scanning Electron Microscopy*). En estos equipos el haz de electrones se concentra sobre una pequeña parte de la muestra para luego desplazarse "barriendo" la misma. Para cada posición del haz de electrones que impactan en la muestra generan electrones secundarios (de menor energía que los primarios) que son recogidos por detectores, proporcionando información sobre la topografía 3D de la superficie de la muestra. Estos equipos no pudieron comercializarse hasta 1965 debido a su mayor complejidad.



¿Cómo funciona un microscopio electrónico?

Un microscopio TEM tiene similitud con un microscopio óptico, pero usa haces de electrones en lugar de luz. En el TEM, la fuente de luz se reemplaza por una fuente de electrones (un filamento de tungsteno o una afilada punta metálica), las lentes de vidrio se reemplazan por lentes electromagnéticas, y una pantalla fluorescente o una cámara hacen las funciones del ojo del observador. El haz de electrones se acelera y mediante las lentes electromagnéticas se enfoca sobre la muestra. La muestra debe ser lo suficientemente delgada como para permitir el paso de los electrones. Tras atravesar la muestra, el haz de electrones se amplifica mediante otras lentes electromagnéticas y llega al dispositivo de visualización o proyección. Estos sofisticados instrumentos requieren un control perfecto del haz de electrones, por lo que en su interior debe hacerse el vacío para que los electrones no碰撞 con moléculas de gases.

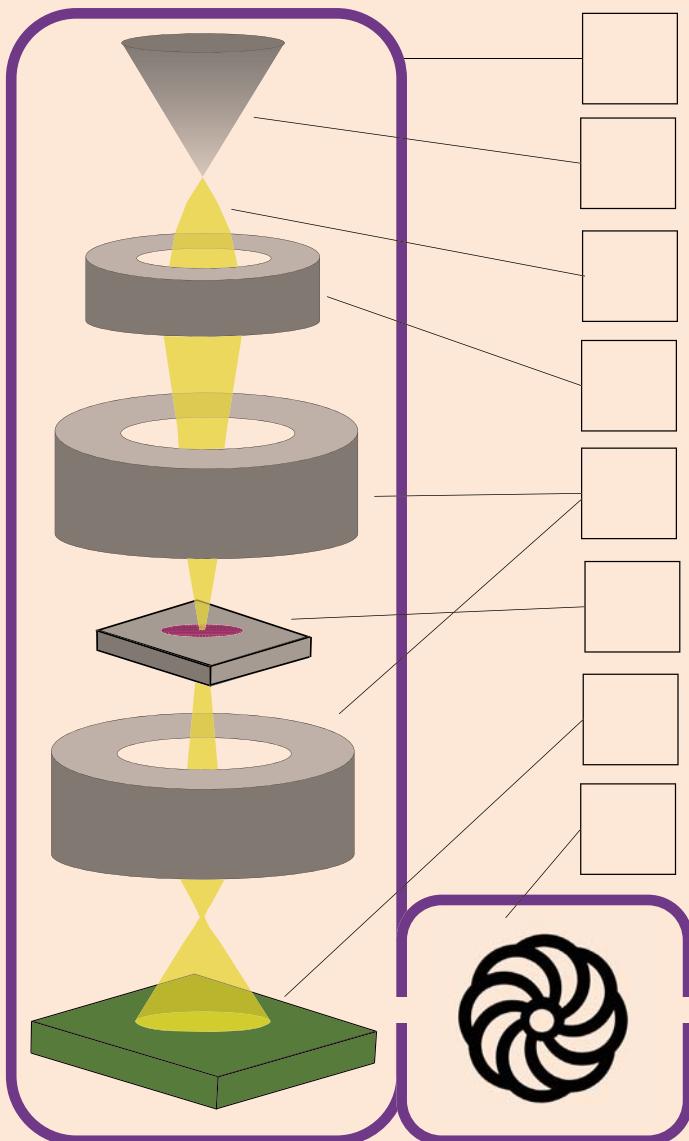
Cuando los electrones llegan a la muestra ocurren varios fenómenos. Por un lado, hay un gran número de electrones que atraviesan la muestra sin sufrir fuertes interacciones. Estos electrones forman la imagen directa de la muestra. Otros electrones son fuertemente desviados sin perder energía y pueden generar lo que denominamos patrones de difracción. En algunos casos de interacción entre los electrones primarios y la muestra ésta emite otros electrones secundarios que son los que se utilizan en los equipos SEM. El microscopio electrónico también proporciona importante información para analizar los electrones difractados, la emisión de rayos característicos por parte de los átomos de la muestra y la energía perdida por los electrones principales tras atravesar la muestra. Toda esta información sirve para conocer la estructura y composición de la muestra, lo que es uno de los puntos fuertes de los equipos TEM o SEM.



Actividad 8: El Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM)

La siguiente tabla describe las partes de un Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM). Escribe en las casillas de la figura el número que corresponde a cada una de estas partes.

Número	Parte	Pista
1	ÁNODO	Elemento cercano a la fuente de electrones que realiza la primera focalización de los electrones.
2	BOMBA DE VACÍO	Equipo dedicado a mantener el vacío en la columna.
3	FUENTE DE ELECTRÓNES	Emite electrones acelerados mediante elevados voltajes.
4	LENTES	Elementos que manipulan y enfocan el haz de electrones hacia la muestra y de ésta a la pantalla.
5	HAZ DE ELECTRÓNES	Electrones emitidos que viajan hasta llegar a muestra y atravesarla.
6	COLUMNAS	Estructura donde se ha practicado el vacío y encierra las otras partes del equipo.
7	SOPORTE CON LA MUESTRA	Sistema donde se coloca la muestra que se desea estudiar. La muestra debe ser muy delgada.
8	PANTALLA FLUORESCENTE	Lugar donde se forma la imagen de la muestra. También puede recogerse la imagen con una cámara.



Actividad 9: ¿Qué podemos ver con los microscopios electrónicos?

Deduce qué objetos son los que se muestran en las siguientes imágenes obtenidas con microscopios electrónicos. Enlaza cada imagen con su posible descripción mediante una flecha.

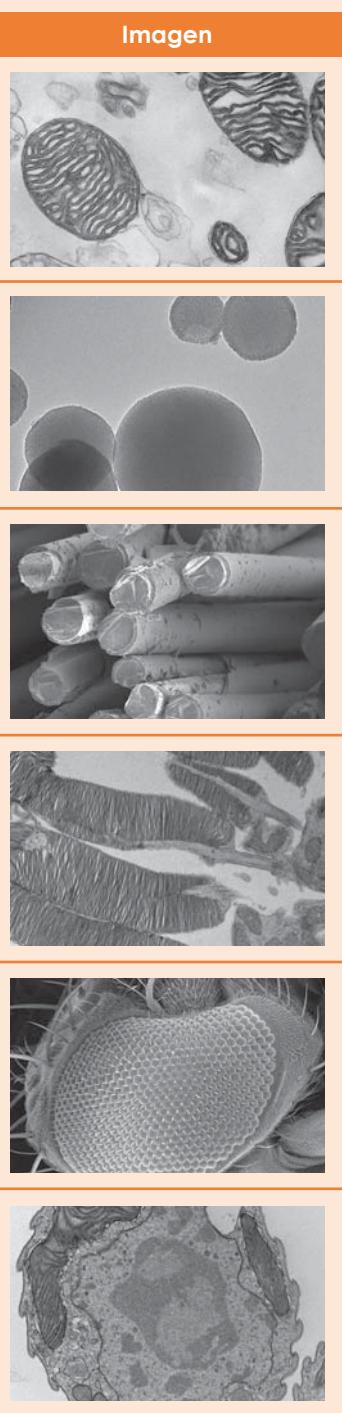


Imagen
Nanopartículas de sílice poroso cargadas con fármacos
Fibras de material cerámico
Mitocondria de célula cardiada de vaca
Ojo compuesto de la mosca de la fruta
Microalga
Bastoncillos de retina de ratón

Curiosidad. Un microscopio de película.

En la película de culto "Blade Runner", dirigida por Ridley Scott y estrenada en 1982, el protagonista Rick Deckard encuentra una escama sintética perteneciente a un "replicante". Para investigar su procedencia acude a un puesto callejero donde una mujer trabaja con un microscopio SEM. Resulta curioso ver cómo hace más de 40 años se predecía que en el futuro (año 2019 en la película) los microscópios serían portátiles y de fácil uso.



PALPANDO ÁTOMOS



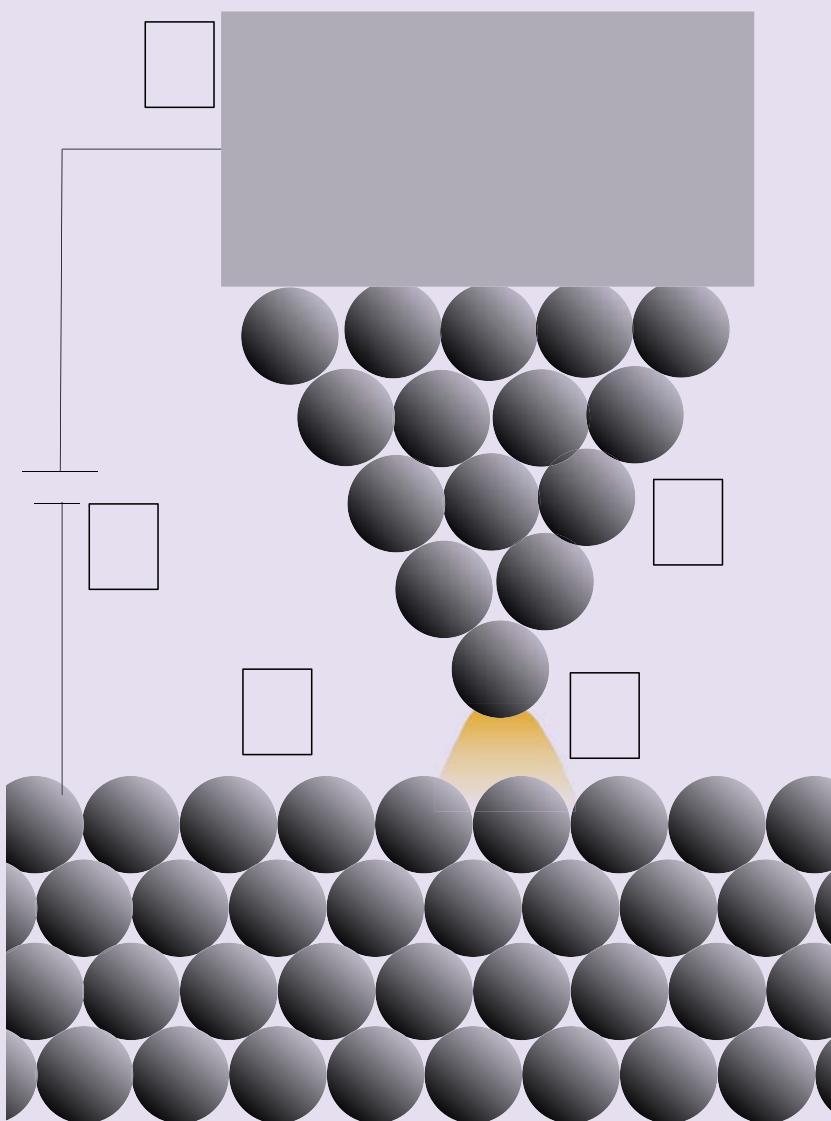
En 1981 Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, investigadores del laboratorio de la empresa IBM en Zurich (Suiza), desarrollaron un instrumento denominado Microscopio de Efecto Túnel o STM (del inglés, *Scanning Tunneling Microscope*). Este microscopio usa una punta metálica que se acerca muchísimo a la superficie de la muestra (sin tocarla) de forma que se logran medir unas pequeñas corrientes eléctricas que aparecen entre la punta y la muestra cuando entre ambas se aplica una diferencia de potencial. Estas corrientes se explican mediante el efecto túnel (explicable solo en el marco de la Mecánica Cuántica). La punta barre la superficie midiendo la corriente túnel y se van registrando las intensidades de la corriente registrada. Así se puede decir que este equipo en realidad reconstruye la imagen de la superficie mientras la "palpa".

Esta revolucionaria herramienta no solo ha permitido ver átomos, además de servir para ver átomos, ha permitido también moverlos de una posición a otra, utilizando la punta como si fuese una "nanopinza". En la sede central de MUNCYT en Alcobendas se exhibe el STM que fue instalado en 1984 en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), haciendo de nuestro país uno de los primeros en disponer de esta técnica (6).

Actividad 10: Partes y elementos del Microscopio de Efecto Túnel (STM)

En la tabla siguiente aparecen algunas partes del STM así como algunos elementos relacionados con su funcionamiento. Escribe las claves en las casillas correspondientes de la figura.

Clave	Parte o elemento funcional
A	Voltaje aplicado entre muestra y punta
B	Piezoelectrónico para mover la punta en las 3 direcciones del espacio.
C	Punta de material conductor.
D	Muestra.
E	Corriente túnel.



iosidad. Ultraprecisión.

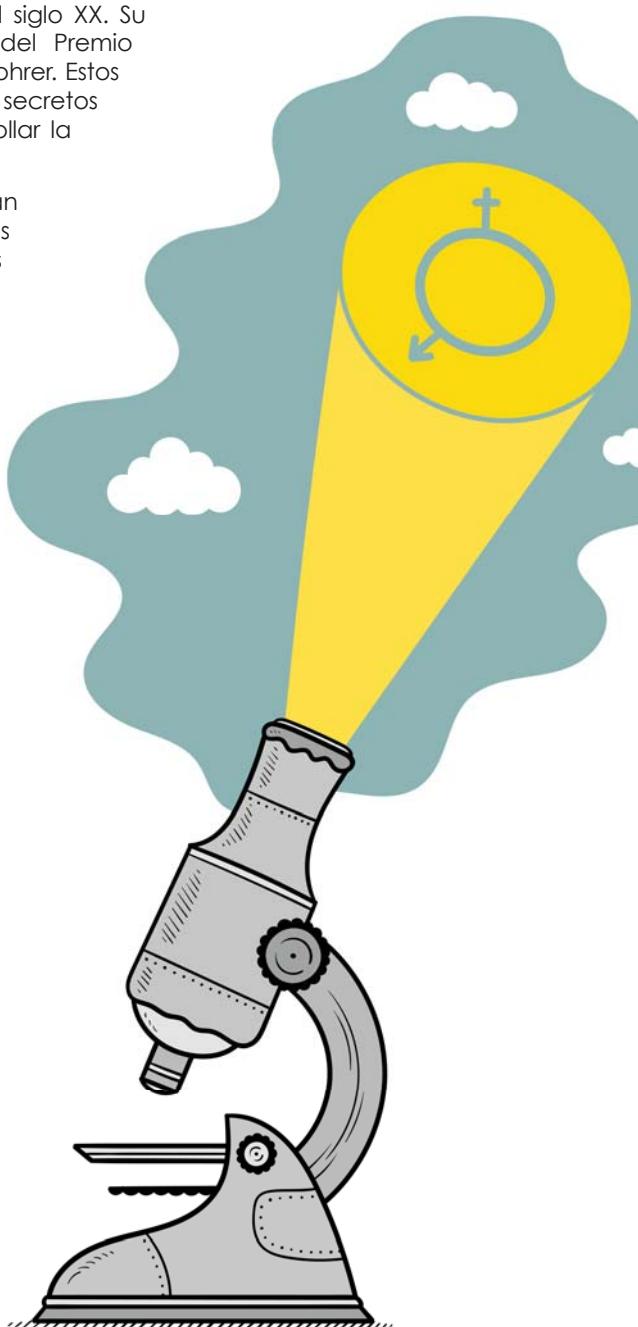
ndo se acerca la punta del STM a la superficie, ésta debe quedar situada a unas pocas mas de nm de la misma para poder medir la pequeñísima corriente túnel. La punta también e desplazarse lateralmente sobre la superficie para recoger la topografía de la muestra. Es r, se necesita mover con gran precisión la punta en las tres direcciones del espacio. Para se usa un sistema mecánico en el que unas cerámicas piezoelectricas, unidas a la punta, se rman cuando se les aplican los voltajes adecuados. Una sencilla idea que permite realizar imientos de gran precisión.

LA MICROSCOPIA TE NECESITA

El efecto de los microscopios electrónicos y los STM ha sido importante en el desarrollo de la ciencia del siglo XX. Su trayectoria queda reflejada en la concesión del Premio Nobel de Física de 1986 a E. Ruska, G. Binnig y H. Rohrer. Estos avanzados microscopios permiten desentrañar los secretos del mundo, y han sido cruciales para desarrollar la llamada Nanotecnología.

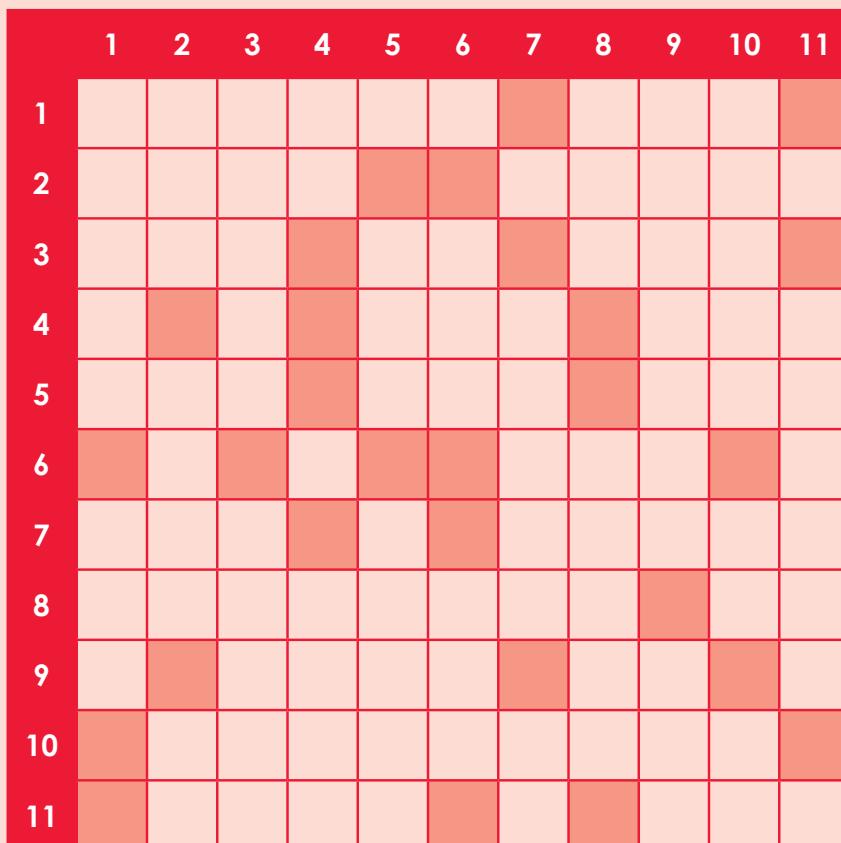
En los últimos 40 años las técnicas microscópicas han mejorado para corregir algunos problemas. Los microscopios electrónicos (como las SPM), se han perfeccionado muchísimo en la electrónica de control y el software de generación de imágenes y se ha avanzado en la forma de preparar las muestras. Por ejemplo, en la técnica denominada Cryo-TEM (crio-microscopía electrónica) se helan las muestras para evitar las vibraciones de los átomos. En 2017, Joachim Frank y Richard Henderson compartieron el Premio Nobel de Química por el desarrollo del Cryo-TEM y su contribución en la visualización de biomoléculas. A través de estos avances se puede obtener una imagen de una nanopartícula, de un virus o de una proteína con resolución atómica. Por su parte, el STM ha generado toda una rama de copias llamadas SPM (del inglés, *Scanning Probe Microscopy*) en las que una punta unida a una palanquita flexible detecta las irregularidades que aparecen entre dicha punta y la muestra, lo que permite estudiar su topografía y otras propiedades.

Y llegando al final de este cuaderno y teniendo en cuenta que te ha sorprendido que no se ha hecho demasiada referencia a contribuciones científicas realizadas por mujeres. Esto está relacionado con la fuerte masculinización de la ciencia a lo largo de su historia. Sin embargo, en el último siglo la situación se está comenzando a equilibrar y en la actualidad las mujeres tienen un papel protagonista en la aventura científica. En el caso de España, a principios de los años 1980, un 5% de los microscopios electrónicos estaban a cargo de mujeres investigadoras. En la actualidad este porcentaje, según fuentes de la Sociedad Española de Microscopía, es del 25%. Se ha avanzado mucho, pero queda todavía por recorrer. ¡Así que la microscopía os necesita a tod@s!



Voces 11: ¿Qué se ha quedado en mis neuronas?

Este crucigrama incluye algunos términos relacionados con los contenidos de este cuaderno. A ver qué cosas hemos aprendido!



NTALES

do de uno de los inventores del Microscopio de Efecto Túnel. Conjunto de partículas o rayos luminosos de mismo origen. **2.** Producto nitrogenado que constituye la mayor parte de la materia orgánica contenida en el organismo de los vertebrados terrestres. Obtener lo que se disputa en un juego, batalla, oposición o pleito. **3.** Señal de socorro más cercana a la Tierra. Siglas de Seguridad Social. Señal de socorro más utilizada internacionalmente. **4.** Símbolo del potasio. Número romano. Siglas en inglés del Microscopio Electrónico de Transmisión. Siglas de las primeras empresas que fabricaron Microscopios Electrónicos de Transmisión, siendo uno de sus modelos el primero que se instaló en España. **5.** Planta de la familia de las liliáceas, cuyo bulbo es blanco, redondo y fuerte y se usa mucho como condimento. Adjetivo posesivo. Siglas de la universidad española en la que se instaló el primer Microscopio de Efecto Túnel. **6.** Vocal. Símbolo del oxígeno. Siglas de la Comunidad Autónoma Europea, antecesora de la Unión Europea. Conjunción disyuntiva. **7.** Al revés, tipo de gorra militar. Al revés, que camina despacio (femenino). **8.** Partícula subatómica ligera y con carga eléctrica que se guarda en una batería. Al revés, entrega. **9.** Símbolo del prefijo "mega". Al revés parte de la neurona. Prenda. Vocal. **10.** Al revés, parte de un microscopio electrónico que emite los electrones. **11.** Desorden. Par de años, número 50. Siglas en inglés del Microscopio Electrónico de Barrido.

TALES

do de uno de los inventores del Microscopio Electrónico. Siglas de la Sociedad Española de Microscopios. **2.** Elemento químico cuyo símbolo es Au. Siglas de una empresa japonesa que fabrica microscopios electrónicos (y que cuenta con algunos equipos en la exposición del MUNCYT sobre microscopía electrónica). **3.** Símbolo químico del Cobalto. **4.** Especie atómica cuyo nombre está relacionado con el sol. Produce beneficio. **4.** Deidad del Antiguo Egipto. Vocal con forma circular. Figura geométrica con forma de arco. **5.** Vocal. Siglas, en inglés, del Microscopio de Efecto Túnel. Entre la quinta y la séptima. **6.** Consonante que aparece en la palabra "rara". Al revés, siglas de Instituto de Enseñanza Secundaria. Siglas en la Memoria de Acceso Aleatorio. **7.** Símbolo del prefijo "giga". Ciudad de la República Popular China que perteneció a Portugal. Símbolo químico del aluminio. **8.** Segunda persona del singular del presente de indicativo del verbo "haber". Al revés, objeto transparente, generalmente de vidrio, que se utiliza en los instrumentos ópticos para desviar la trayectoria de los rayos luminosos y formar imágenes (aunque también se usa su equivalente electromagnético para desviar las trayectorias de electrones). **9.** Al revés, célula del sistema nervioso en el que trabajó Santiago Ramón y Cajal. Al revés, preposición que denota falta de algo. **10.** Interjección que significa "¡vaya!". **11.** Consonante que aparece en la palabra "mamá".

PIEZAS DE INTERÉS

de este cuadernillo ha aparecido el símbol () en varias ocasiones, indicando que alguna pieza interesante del MUNCYT está relacionada con el texto. A continuación, se da un poco más de información sobre:

YT (Alcobendas): se muestra un modelo de ojo humano, construido en 1862 por Louis Thomas Jérôme.

YT (Alcobendas): se exhibe un microscopio compuesto, construido entre 1715 y 1730, fabricado por Jacobus van Leeuwenhoek (1660-1738).

YT (A Coruña): se exhibe un microscopio monocular de 1906 fabricado por la empresa alemana Krenzschk & Scherzer, similar a los usados por Santiago Ramón y Cajal.

YT (Alcobendas): se muestra un tubo de Crookes fabricado entre 1930 y 1950.

YT (Alcobendas): se exhibe un Audíón (1930-1950).

Si deseas ver el video de la colección "Piezas con memoria" del MUNCYT, puedes hacerlo en [w.youtube.com/watch?v=3QYiF-LaOpE](https://www.youtube.com/watch?v=3QYiF-LaOpE).

PARA SABER UN POCO MÁS

Unidad didáctica Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro

Gago, Elena Casero, Carlos Briones, Pedro A. Serena,

Española de Ciencia y Tecnología (2008) ISBN: 978-84-691-7266-7

Puedes descargarla gratuitamente de <https://www.fecyt.es/es/publicacion/unidad-didactica-nanociencia-y-nanotecnologia-ficcion-del-presente-y-la-futuro>)

Experimenta "Nanotecnología"

[w.muncyt.es/investigacion/publicaciones/cuaderno-experimenta-nanotecnologia](http://www.muncyt.es/investigacion/publicaciones/cuaderno-experimenta-nanotecnologia)

Experimenta "Relatividad"

[w.muncyt.es/investigacion/publicaciones/cuaderno-experimenta-relatividad](http://www.muncyt.es/investigacion/publicaciones/cuaderno-experimenta-relatividad)

Expo "40 años viendo átomos" (CSIC)

Centro de Divulgación Científica

[w.youtube.com/watch?v=pJ0MtKqTOco](https://www.youtube.com/watch?v=pJ0MtKqTOco)

Presentación de microscopios electrónicos (en inglés)

[w.wecanfigurethisout.org/VL/home.htm](http://www.wecanfigurethisout.org/VL/home.htm)

[o.org.au/](http://www.videomicroscopy.org.au/)

Escape Room de la Infraestructura Científico Técnica Singular (ICTS) en Microscopía Electrónica (ELENA)

[a.elecmi.es/](http://www.elecmi.es/)

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Actividad 1

Cadena de ARN mensajero (5*), El monte Everest (16), El rascacielos Burj Khalifa (15), El Universo (22), Galaxia de Andrómeda (21), Glóbulo rojo (7*), Hormiga (9), Júpiter (19), La Tierra (18), Libro (11), Líquido (12), Quark (1*), Rana (10), Sol (20), Un átomo de hidrógeno (3*), Una locomotora (13), Una molécula de glucosa (4*), Una secuoya gigante de California (14), Virus SARS Covid19 (6*).

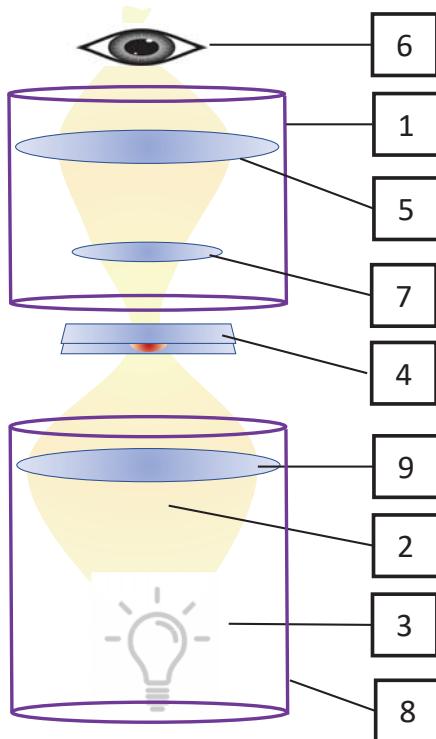
Actividad 2

TIPO DE ONDA	DENOMINACIÓN
	R A Y O S G A M M A
	R A Y O S X
	U L T R A V I O L E T A
	L U Z V I S I B L E
	I N F R A R R O J O
	M I C R O O N D A S
	R A D I O Y
	T E L E V I S I O N
	O N D A L A R G A

Actividad 3

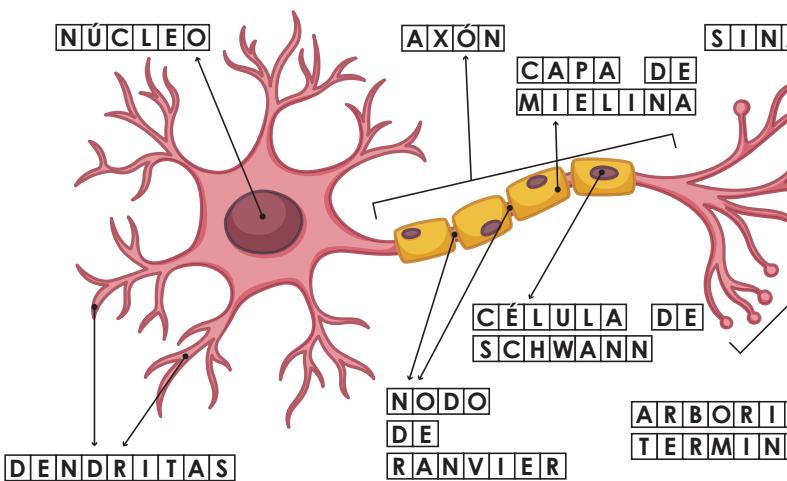
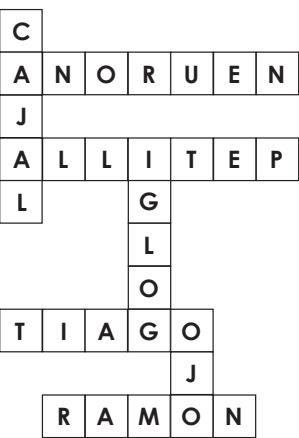
Objeto	Tamaño real	Tamaño aparente deseado en una imagen	Aumento requerido
Ácaro Dermatophagoides farinae	0,40 mm	20 cm	500X (*)
Grano de polen de olivo	80 µm	10 cm	1250X (*)
Bacteria Escherichia Coli	3 µm	10 cm	33300X (*)
Mosca doméstica	6 mm	18 cm	30X (*)
Virus SARS Covid 2	100 nm	5 cm	500000X
Ribosoma	32 nm	5 cm	1560000X
Linfocito T	8 µm	1 cm	1250X (*)
Fullereno	0,7 nm	1 cm	1430000X

Actividad 4



Ad 5

Actividad 6



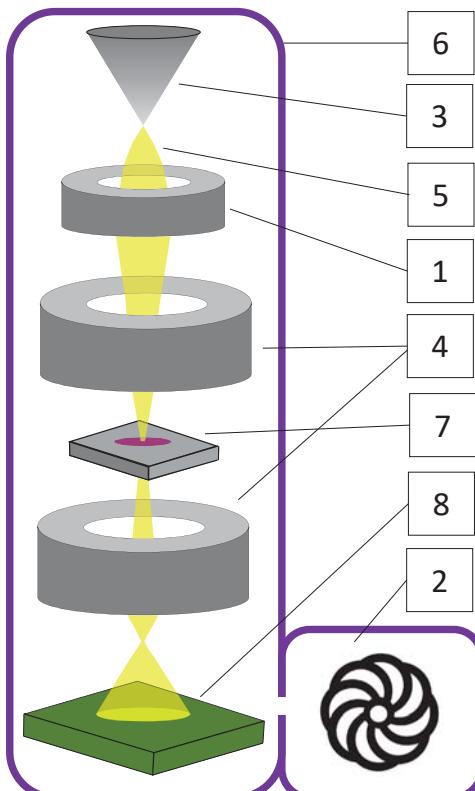
Ad 7

Personajes:	Inicial	Clave
EINSTEIN	E	E
MENDELEIEV	M	E
CROOKES	C	W
THOMSON	T	R
PLANCK	P	R
DE BROGLIE	D	N

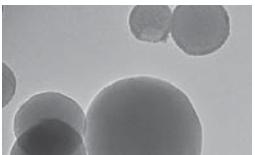
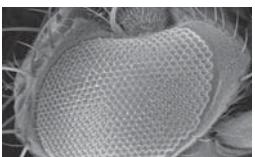
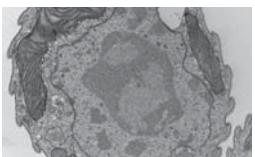
W E R N E R H E I S E N B E R G

El personaje buscado es Werner Heisenberg (1901-1976) quien publicó en 1925 su artículo sobre una formulación alternativa a la ecuación de Schrödinger.

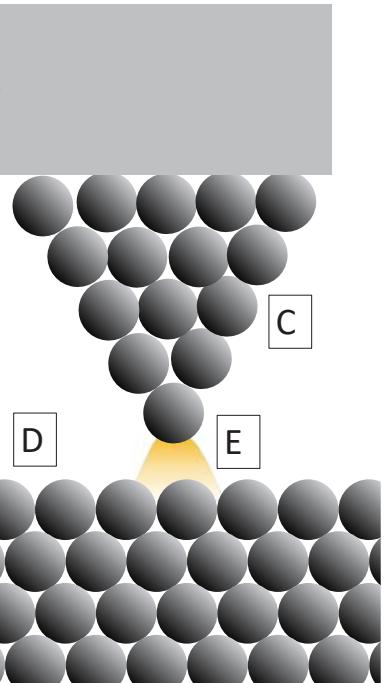
Ad 8



ad 9

Imagen	Imagen
	Nanopartículas de sílice poroso cargadas con fármacos
	Fibras de material cerámico
	Mitocondria de célula cardiada de vaca
	Ojo compuesto de la mosca de la fruta
	Microalga
	Bastoncillos de retina de ratón

ad 10



Actividad 11

1	R	O	H	R	E	R		H	A	Z
2	U	R	E	A			G	A	N	A
3	S	O	L		S	S		S	O	S
4	K		I		T	E	M		R	C
5	A	J	O		M	I	A		U	A
6		E		O		C	E	E		
7	S	O	R		A		A	T	N	E
8	E	L	E	C	T	R	O	N		A
9	M		N	O	X	A		E	N	
10		O	T	N	E	M	A	L	I	F
11		C	A	O	S		L		S	E



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES

FECYT
INNOVACIÓN



MUNCYT
MUSEO NACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA



AÑO
CAJAL