

EL PODER DE LA LUZ DE SINCROTRÓN

QUÉ ES, CÓMO FUNCIONA
Y PARA QUÉ SIRVE EL SINCROTRÓN ALBA

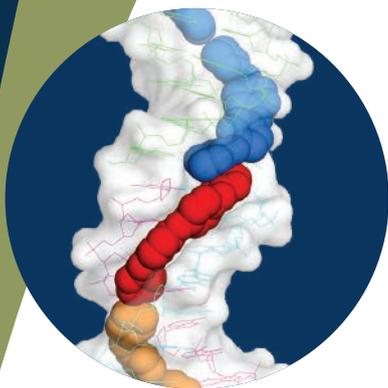
DOSIER EDUCATIVO PARA ESO Y BACHILLERATO



La Gioconda de **Leonardo da Vinci** es uno de los cuadros más célebres de la historia. La **enigmática sonrisa** de la protagonista, las suaves transiciones de luces y sombras y los contornos desdibujados son algunas de las claves que explican su fama. Leonardo conseguía estos efectos con una **técnica llamada sfumato**, que consiste en superponer capas de pintura. Su talento le permitió superponer capas de hasta pocas milésimas de milímetro de grosor.



Hoy en día llevamos en el bolsillo juegos, centenares de vídeos y miles de fotografías. El estudio de nuevos materiales es fundamental para seguir aumentando la velocidad y la memoria de nuestros aparatos. Los **skyrmiones magnéticos**, por ejemplo, son unas **estructuras nanoscópicas** que pueden usarse para aumentar la capacidad de los dispositivos actuales.



La **malaria** es una enfermedad que provoca casi **medio millón de muertes al año**. Los parásitos que la causan han desarrollado resistencia a los medicamentos, de modo que los tratamientos ya no son tan eficaces. Por este motivo, es fundamental **encontrar nuevos fármacos** que actúen mejor contra los parásitos resistentes, tales como el **CD27**, un compuesto sin patente que se puede fabricar en cualquier laboratorio farmacéutico del mundo.

¿QUÉ TIENEN EN COMÚN
ESTAS **3** HISTORIAS?

¿QUÉ ES EL SINCROTRÓN ALBA?

Un sincrotrón es un aparato que acelera las **partículas microscópicas como los electrones a velocidades cercanas a la de la luz** a lo largo de una circunferencia.

Cuando realizan este movimiento, los electrones emiten un tipo de luz muy concreta: **la luz de sincrotrón**, que permite **estudiar la materia a escalas atómicas y moleculares**.

Gracias a la luz de sincrotrón, se pueden llevar a cabo experimentos para comprobar la eficacia de un medicamento contra la malaria, estudiar objetos como los *skyrmiones* para aumentar la memoria de los dispositivos electrónicos o descubrir el grosor de las capas de pintura con las que Leonardo da Vinci pintó *La Gioconda*.

Hay una **cincuentena de sincrotrones en todo el mundo**, unos veinte de los cuales se hallan en Europa. Situado en Cerdanyola del Vallès, **ALBA** es el único sincrotrón del Estado español.

Sincrotrón ALBA.



COMPLETA

En el sincrotrón ALBA se
 aceleran
 para que emitan
 que se utiliza para realizar
 y estudiar
 la a escalas
 muy .

¿HAY ALGUNA DIFERENCIA ENTRE EL SINCROTRÓN ALBA Y EL LHC?

El LHC está situado en Ginebra y **es el acelerador de partículas más grande y más potente del mundo**. En sus instalaciones se descubrió, hace unos años, el famoso **bosón de Higgs**. Tanto el ALBA como el LHC son aceleradores de partículas, pero hay muchas diferencias entre ellos.

El **Sincrotrón ALBA acelera electrones**, mientras que en **el LHC se aceleran partículas como los protones**. Como los protones son casi 2000 veces más pesados que los electrones, acelerarlos es más difícil y requiere una tecnología distinta.

El objetivo del **Sincrotrón ALBA es acelerar electrones para generar luz**. Dicha luz se utiliza para llevar a cabo experimentos: se pueden estudiar, por ejemplo, las células afectadas por un virus a fin de encontrar medicamentos para curarlas. En cambio, el **objetivo del LHC es acelerar partículas como los protones para hacerlas colisionar y estudiar sus propiedades** o, por ejemplo, descubrir si están formadas por partículas más pequeñas.

Se necesita muchísima energía para acelerar protones y, por ello, el **LHC es una instalación enorme**: el tubo por el que circulan las partículas tiene **una circunferencia de 28 kilómetros**. En cambio, el tubo del Sincrotrón ALBA tiene un **perímetro de 268 metros**.

Instalaciones del experimento ATLAS en el LHC / CERN.



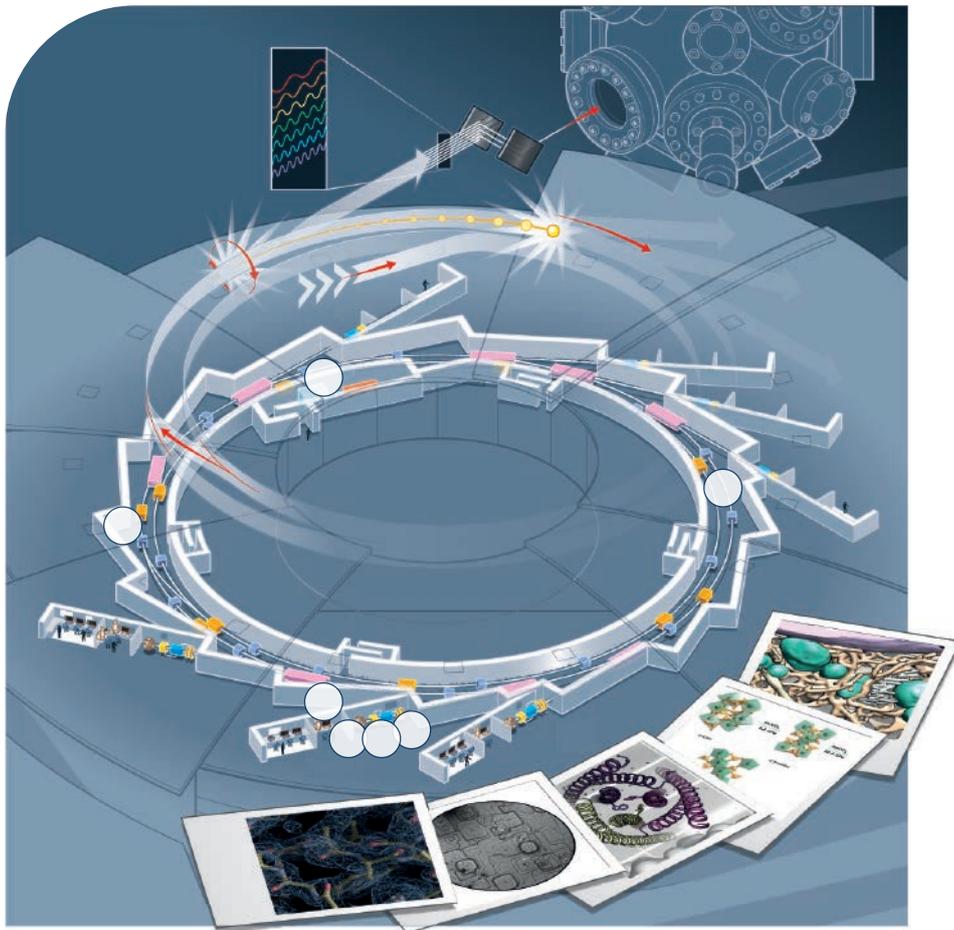
COMPLETA

El Sincrotrón ALBA y el LHC son de
 muy . En el LHC se aceleran partículas como los
 para hacerlas y estudiar sus .

¿CÓMO FUNCIONA EL SINCROTRÓN ALBA?

Numera los siguientes procesos en función del orden en el que se llevan a cabo y **colócalos en el lugar correspondiente** del esquema:

- La luz se almacena y analiza para obtener información de la muestra.
- El detector recoge la luz tras pasar por la muestra.
- Se inyectan los electrones en el anillo de almacenamiento para que sigan una trayectoria circular.
- Se extraen los electrones de un metal.
- Se aceleran los electrones hasta velocidades cercanas a la de la luz.
- Se capta y modifica la luz emitida por los electrones en función del experimento que se quiera realizar.
- Una vez modificada, se utiliza la luz para iluminar la muestra que se tenga que estudiar.



¿DE DÓNDE SE OBTIENEN LOS ELECTRONES?

Cuando tocamos un objeto con la mano y notamos que está caliente, lo que percibimos es que las partículas que lo forman **se mueven y vibran más rápidamente que en un objeto frío**. La temperatura es una medida del movimiento de las partículas que conforman un cuerpo: **a mayor temperatura, más movimiento**. Si las partículas del objeto que hemos tocado se mueven y vibran muy rápidamente, los impactos con la piel pueden provocar dolor e incluso heridas. Eso es lo que ocurre con las quemaduras.

Si se calienta suficientemente un metal, llega un momento en el que los electrones de su interior se mueven tan rápido que pueden desprenderse del metal y abandonarlo. **En el Sincrotrón ALBA se recurre a este proceso para obtener electrones**: se calienta un metal por encima de los 1000 grados centígrados hasta que los electrones tienen suficiente energía para salir.



Metal del que se obtienen los electrones.

COMPLETA

Los electrones se obtienen a partir de
que se por encima de los
A estas temperaturas, los electrones se
 del material.

¿CÓMO SE ACELERAN LOS ELECTRONES?

Tras abandonar el metal, los **electrones se aceleran hasta velocidades cercanas a las de la luz**. Esto se consigue en **dos etapas**:

En la primera, se utilizan **campos eléctricos para aumentar la velocidad de los electrones** a lo largo de un tramo recto. En el acelerador lineal, los electrones alcanzan velocidades que superan el **99 % de la velocidad de la luz**.

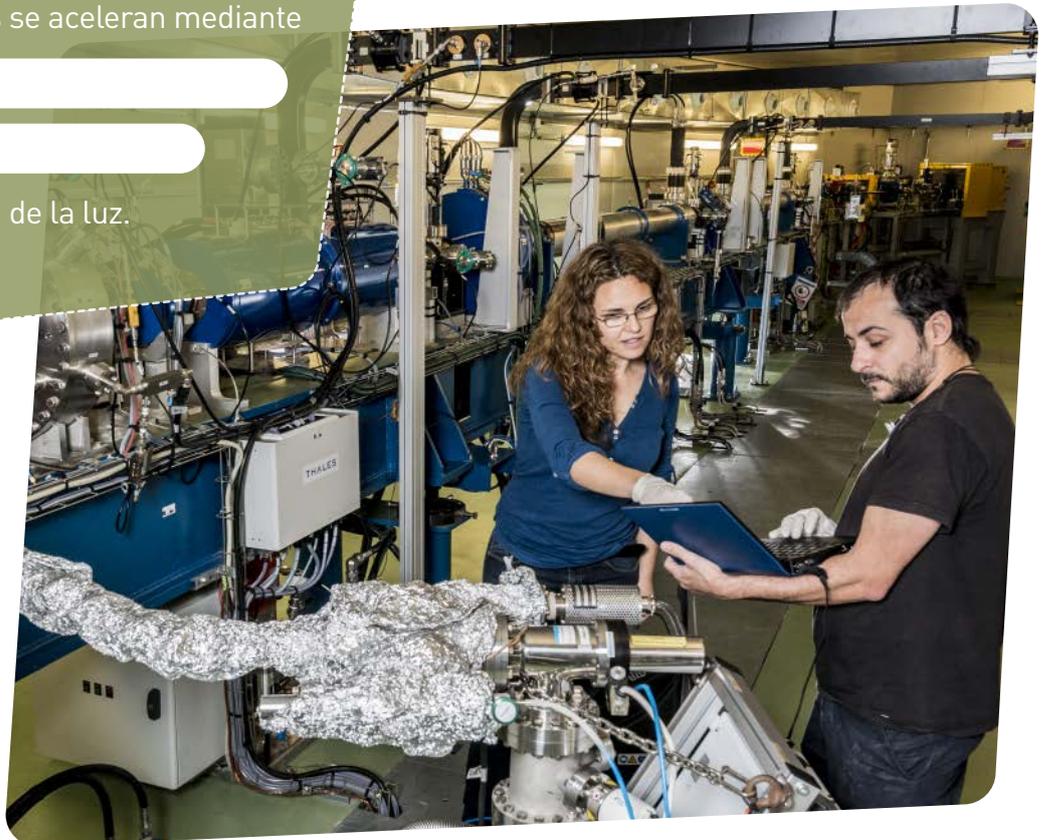
En la segunda etapa, los **electrones entran en un anillo que denominamos *propulsor***. Con la ayuda de campos electromagnéticos externos, los electrones siguen la trayectoria circular definida por el anillo y su **velocidad aumenta hasta el 99,9999985 % de la velocidad de la luz**.

COMPLETA

Los electrones se aceleran mediante

hasta el

de la velocidad de la luz.



Acelerador lineal de electrones.

¿CÓMO SE MANTIENEN LOS ELECTRONES A VELOCIDADES TAN ALTAS?

Cuando los electrones alcanzan la velocidad adecuada, **se introducen en el anillo de almacenamiento**. En él siguen una **trayectoria circular** que tiene el grosor de un cabello y efectúan un millón de vueltas por segundo. Mientras giran, **emiten la luz que se recoge y utiliza para realizar experimentos**.

Sin embargo, con el paso del tiempo, los electrones chocan con las paredes interiores del anillo y cada vez quedan menos en circulación. Cada 24 horas, el número de electrones se reduce a la mitad, lo cual significa que continuamente hay que ir produciendo, acelerando e inyectando electrones al anillo de almacenamiento. En el Síncrotrón ALBA las reinyecciones son cada 20 minutos.

Además, como consecuencia de la emisión de luz, **los electrones pierden energía y giran cada vez más despacio**. Para mantener la velocidad y conseguir que la luz emitida tenga siempre las propiedades adecuadas para llevar a cabo experimentos, es preciso impulsar los electrones continuamente; esto se consigue **gracias a los campos eléctricos creados en las denominadas cavidades de radiofrecuencia**. Dichas cavidades deben impulsar los electrones al mismo ritmo al que dan vueltas por el anillo. **La sincronización entre el impulso y la velocidad de giro de los electrones es lo que da nombre a este tipo de aceleradores. Por eso se llaman sincrotrones**.

Anillo de almacenamiento (izquierda) y anillo propulsor (derecha).



COMPLETA

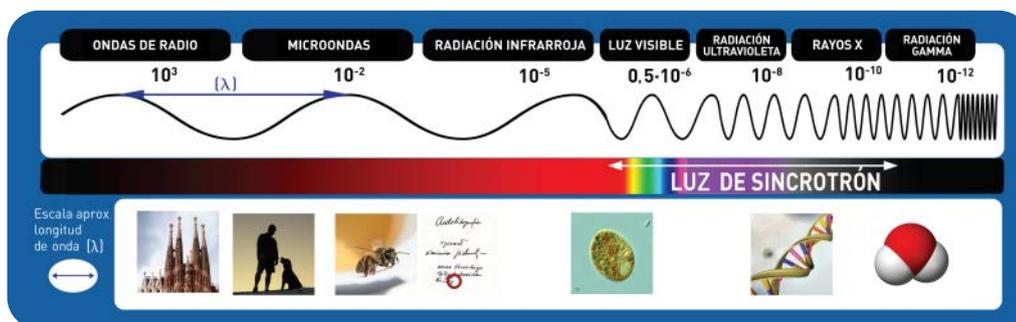
Los con la pared del anillo provocan que cada vez giren electrones. Además, como emiten , los electrones pierden . Por tanto, es necesario e electrones periódicamente.

¿CÓMO ES LA LUZ QUE EMITEN LOS ELECTRONES?

En su trayectoria circular, los **electrones emiten luz de muchos tipos**: tanto visible (azul, roja, etc.) como **invisible al ojo humano** (desde el infrarrojo hasta los rayos X, pasando por la luz ultravioleta).

La longitud de onda es una propiedad de las ondas que permite conocer su tamaño. Cuando una onda se topa con un obstáculo de tamaño similar, interacciona con el objeto y experimenta alteraciones. Comparar la onda antes y después de la interacción aporta información acerca de la naturaleza del objeto. Los **rayos X tienen una longitud de onda cercana a los 10^{-10} metros**, es decir, 0,0000000001 metros. La distancia entre los átomos que conforman la materia es parecida. Por este motivo, **la mayoría de experimentos usan los rayos X**.

Si en lugar de utilizar los rayos X se utilizara la luz infrarroja, cuya longitud de onda es de 10^{-6} metros, es decir, de una milésima de milímetro, no constataríamos diferencia alguna entre la luz de antes y después de la interacción. La onda sería mucho mayor que los átomos y, por tanto, no se vería alterada. La situación es comparable a la de las olas del mar que se encuentran con un tapón de corcho o un barco de 20 metros de largo. ¿En qué caso se ven más afectadas las olas?



Las diferentes longitudes de onda de la luz.

COMPLETA

En un sincrotrón se genera luz , , y . Como tiene una parecida a la entre los , la luz que más se usa en los es la de los .

¿CÓMO SE USA LA LUZ QUE EMITEN LOS ELECTRONES?

Cuando giran, los **electrones emiten luz en la dirección de su movimiento**. Esto significa que, en el momento de emisión, la **luz se mueve en la misma dirección y sentido que los electrones**. No obstante, los electrones se **desplazan en círculo** como consecuencia de los campos electromagnéticos. En cambio, **la luz sigue moviéndose en línea recta** y, por tanto, es **tangente a la trayectoria circular de los electrones**.

La **luz emitida** por los electrones se recoge y utiliza en las **denominadas líneas de luz**.

Estos dispositivos se colocan siguiendo la trayectoria de la luz: **recta y tangente al anillo**. En las líneas hay aparatos que modifican la luz según el experimento que se quiera realizar. Una vez modificada, otros aparatos se encargan de enfocarla hacia la muestra que se vaya a estudiar. Tras impactar con la muestra, **un detector capta la luz resultante y almacena los datos para analizarlos**.

En el Sincrotrón ALBA hay 8 líneas de luz; se están construyendo 3 más.

Línea de luz (izquierda), anillo de almacenamiento (centro) y anillo propulsor (derecha).



COMPLETA

Las recogen la luz emitida por los electrones, la y la sobre la muestra que se quiere estudiar. Luego se los resultados.

¿QUÉ VENTAJAS TIENE LA LUZ DE SINCROTRÓN?

Además de los sincrotrones, hay muchos **otros aparatos que generan rayos X**. Por ejemplo, las máquinas para tomar radiografías en los hospitales. ¿Por qué no se utilizan estas otras máquinas, que son más sencillas y baratas, para realizar los mismos experimentos? La razón radica en que **los rayos X que se generan en un sincrotrón tienen unas propiedades únicas** que permiten realizar experimentos que no serían posibles de ninguna otra forma.

Un **sincrotrón puede producir muchos tipos de rayos X**, mientras que las demás máquinas solo generan uno en concreto. Así pues, **con un sincrotrón se pueden llevar a cabo muchos más experimentos**. Los rayos X que se producen en un sincrotrón son muy brillantes. Igual que si ilumináramos una habitación con una linterna potente, cuando iluminamos una muestra con rayos X muy brillantes podemos apreciar una serie de detalles que nos pasarían inadvertidos si la luz fuera más tenue.

La luz del sincrotrón es una luz polarizada: vibra en una dirección muy concreta. Hay materiales que responden de una manera muy distinta a la luz en función de cómo vibra. Por consiguiente, **la luz polarizada permite realizar experimentos que no se podrían hacer con luz sin polarizar**. Un sincrotrón puede producir luz pulsada, es decir, luz intermitente. Además, dicha intermitencia puede ser muy rápida, **de hasta 1000 pulsos por segundo**. Es como si se hicieran fotografías muy seguidas de la muestra, lo que **permite estudiar procesos muy rápidos, como por ejemplo las reacciones químicas**.

Experimento en el Sincrotrón ALBA.



COMPLETA

La luz de sincrotrón tiene unas características que permiten llevar a cabo experimentos de realizar de otra forma: incluye tipos de rayos X y es , y .

¿QUÉ TÉCNICAS SE UTILIZAN EN EL SINCROTRÓN ALBA?

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Cuando se ilumina la muestra, pueden suceder varias cosas. A veces los átomos desvían los rayos X. Tras atravesar la muestra, si dichos rayos se captan en una pantalla para estudiar las desviaciones que han experimentado, se puede deducir cómo eran y cómo estaban colocados los átomos que las han provocado. **Esta técnica se llama *difracción de rayos X***. Hay **tres tipos de difracciones**, según la forma en la que **estén ordenados** en el espacio los átomos de la muestra:



Si los átomos están ordenados y forman estructuras que se repiten con regularidad en el espacio, se puede observar con mucha precisión de qué manera han desviado los rayos X. **Este tipo de difracción**, que permite deducir exactamente la estructura interna de la muestra en 3D, **se conoce como *monocristalina***.



Si los átomos no están tan bien ordenados, la imagen que se obtiene en la pantalla tiene forma anular. A partir de los anillos, y gracias a técnicas matemáticas, se puede conocer la estructura interna de la muestra en 3D. **Este proceso se llama *difracción de polvo***.



Por último, **si la muestra está formada por estructuras de mayor escala** como plásticos, fibras o tejidos vivos, la imagen resultante brinda información sobre la estructura interna de la muestra y los cambios que ha experimentado a consecuencia de las condiciones ambientales o los procesos fisiológicos. **Esto se conoce como *difracción no cristalina***.

COMPLETA

La de rayos X consiste en iluminar la muestra con rayos X y analizar las que han experimentado los rayos para deducir cómo es la muestra .

¿QUÉ TÉCNICAS SE UTILIZAN EN EL SINCROTRÓN ALBA?

ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X

Cuando se ilumina una muestra, a veces el material absorbe parte de los rayos X y, al cabo de un rato, como consecuencia de la absorción, emite otro tipo de luz. Las propiedades de dicha luz dependen de la estructura interna del material. Por tanto, su análisis arroja información sobre la muestra. **Este proceso se llama espectroscopía. La absorción de rayos X y la emisión posterior de luz se pueden realizar de diferentes maneras:**

- En el proceso llamado **fotoemisión**, la muestra emite electrones, que se pueden captar para obtener información sobre su interior.
- Si el material acumula luz en la estructura, se puede analizar la luz acumulada en un proceso denominado **absorción**.
- A veces los átomos de la muestra solo reemiten una parte de la luz absorbida, en un proceso que se conoce como **dispersión o fluorescencia**.
- Por último, puede ocurrir que no sean los átomos los que absorban la luz, sino los enlaces que los unen. Como cada enlace puede absorber un tipo y cantidad de energía determinada, analizar este tipo de absorción permite saber cómo están unidos los átomos en el interior de la muestra. Este proceso se llama **espectroscopía de infrarrojo**.

Experimento de espectroscopía de absorción en el Sincrotrón ALBA.

COMPLETA

En la de rayos X, la muestra puede captar la y después emitir , , o . En la espectroscopía de , la luz es captada por los de la .

¿QUÉ TÉCNICAS SE UTILIZAN EN EL SINCROTRÓN ALBA?

MICROSCOPIA DE RAYOS X

La luz de un sincrotrón también se puede usar para observar muestras, tal como hacemos con los microscopios convencionales. La ventaja es que, **gracias a los rayos X, podemos observar objetos muy pequeños** que no se podrían distinguir con un microscopio de luz visible. La observación puede realizarse de diferentes formas.

Cuando los rayos X excitan los electrones de la capa superficial de la muestra, se pueden utilizar lentes para reconstruir la superficie de la muestra a partir de los electrones, en **un proceso que se conoce como *microscopía electrónica de fotoemisión***.

Si la muestra se irradia con rayos X de baja energía, se pueden tomar imágenes desde distintos ángulos con el microscopio. De este modo se puede reconstruir la estructura 3D de la muestra. **Esta técnica se llama *microscopía de transmisión de rayos X***.

En un sincrotrón también se pueden combinar la espectroscopía de infrarrojo y la microscopía óptica. De este modo se pueden analizar los sistemas biológicos con **luz infrarroja, en lo que se conoce como *microscopía de infrarrojo***.

Experimento de microscopía de fotoemisión en el Sincrotrón ALBA.



COMPLETA

Un sincrotrón también se puede utilizar como un ,
convencional. Gracias a las propiedades de los ,
esta técnica permite observar objetos más
que con los microscopios de .

¿QUÉ SE PUEDE INVESTIGAR EN EL SINCROTRÓN ALBA?

Los **rayos X que se producen en el Sincrotrón ALBA** se pueden utilizar para **analizar las muestras procedentes de materiales y ámbitos muy diversos.**

BIOMEDICINA



Desarrollo de nuevos tratamientos y técnicas de diagnóstico precoz de **cáncer de piel**, el cáncer más frecuente.
▶ <https://youtu.be/ml4M7t5456E>

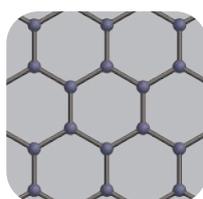


Estudio de células hepáticas afectadas de **hepatitis C**, con el objetivo de diseñar mejores tratamientos.
▶ <https://youtu.be/d-aDMTemxu0>

CIENCIA DE MATERIALES



Estudio de nuevos materiales magnéticos para ampliar la **memoria** de ordenadores y teléfonos móviles.



Estudio de nuevos materiales como el **grafeno**, un material más duro que el diamante y más resistente que el acero.

ALIMENTACIÓN



Estudio del proceso de **crystalización** del chocolate para conseguir texturas nuevas y más agradables.



Estudio del **trigo enriquecido con selenio**, un nutriente fundamental, para determinar las mejores técnicas de cultivo y enriquecimiento.
▶ <https://youtu.be/j-ohGQP75oE>

MEDIOAMBIENTE



Análisis del **suelo contaminado con arsénico** con el objetivo de eliminar los residuos.



Estudio de **catalizadores** para mejorar la eficiencia de los vehículos eléctricos.
▶ <https://youtu.be/or00GxYflwA>

PATRIMONIO CULTURAL



Estudio y **eliminación de las manchas** en las pinturas de la capilla de San Miguel del Monasterio de Pedralbes.
▶ https://youtu.be/CaH4cD_gX2l



Análisis de las vidrieras de la Catedral de Segovia a fin de conocer **cómo se construyeron** y mejorar su estado de conservación.

¿QUIÉN PUEDE UTILIZAR EL SINCROTRÓN ALBA?

El **Sincrotrón ALBA** es un **acelerador gestionado** por un consorcio entre el **Estado español y la Generalitat de Catalunya** que entró en funcionamiento en el **año 2012**.

El **Sincrotrón ALBA** está a **disposición de los investigadores del sector público y de las empresas**. Un comité de científicos internacionales analiza las propuestas de experimentos y selecciona las más interesantes. Los **investigadores públicos** pueden usar el sincrotrón sin pagar nada, pero a cambio tienen que **comprometerse a publicar los resultados de sus investigaciones para que la sociedad pueda beneficiarse de ellos**. En cambio, las **empresas** tienen que **pagar para llevar a cabo experimentos, pero no están obligadas a compartir los resultados**.

Más de **200 personas** trabajan en el **Sincrotrón ALBA**.





EL PODER DE LA LUZ DE SINCROTRÓN
QUÉ ES, CÓMO FUNCIONA Y PARA QUÉ SIRVE EL SINCROTRÓN ALBA

DOSIER EDUCATIVO PARA ESO Y BACHILLERATO