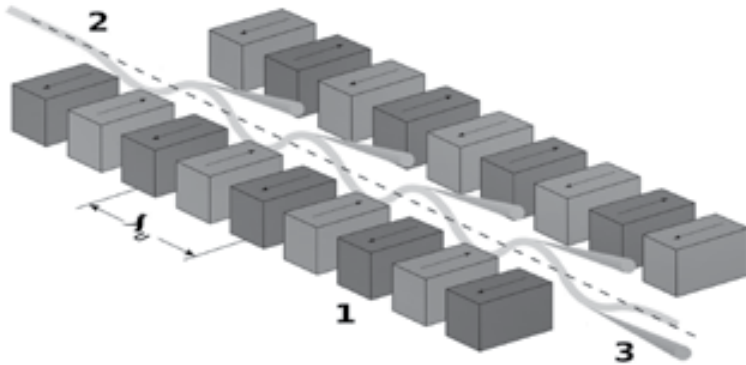




## ¿Qué es la radiación sincrotrónica y para qué sirve? Parte II



Los sincrotrones de tercera generación se caracterizan por contar con "Onduladores" Estos elementos, compuestos de un arreglo periódico de imanes (1) hacen oscilar a los electrones relativistas (2) de tal manera que la radiación producida (3) sea una suma coherente de contribuciones de cada punto tangente. La brillantez que se alcanza con este tipo de onduladores es del orden de 1000 veces la de sincrotrones normales. Los sincrotrones de tercera generación usan este tipo de elementos, también llamados "elementos de inserción".

ANTONIO JUÁREZ

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM  
Academia de Ciencias de Morelos

Hace una semana publicamos en éste espacio [en La Unión de Morelos del lunes 17 de noviembre de 2014, página 19] la primera parte de un artículo presentando la luz sincrotrónica, sus características y su historia. En esta segunda parte describiremos las modernas máquinas para producir y discutiremos sus aplicaciones.

### Las nuevas generaciones

Cuando se hizo evidente que los usos de la radiación sincrotrón merecían un acelerador por derecho propio, se desarrollaron aceleradores más eficientes con el objetivo específico de aprovechar al máximo las ventajas de dicha radiación. El laboratorio de radiación sincrotrónica de Daresbury, en el Reino Unido, fue inaugurado en 1981 con este objetivo en mente. El autor de este artículo tuvo la fortuna de trabajar en su cercanía alrededor del año 2000, cuando este laboratorio seguía aún en operación. Casi en paralelo se inauguraron laboratorios de radiación sincrotrónica para la producción de rayos ultravioleta y rayos X en los Estados Unidos (NSLS, Brookhaven), Europa (BESSY, Berlín) y en Japón (Photon Factory). Estas fuentes de radiación, diseñadas expresamente para el estudio de la interacción de la luz con la materia constituyen la segunda generación de fuentes de radiación sincrotrónica. Avances ulteriores en el diseño de imanes deflectores, arreglados ingeniosamente de forma periódica, así como de óptica optimizada para su uso en el ultravioleta y los rayos X llevaron al desarrollo de fuentes cada vez más brillantes y especializadas, que constituyen las fuentes de "tercera generación". Estas fuentes se caracterizan por el uso de "elementos de inserción", que, como se mencionó arriba, consisten en un arreglo periódico de imanes de campo magnético intenso. La periodicidad del campo magnético se arregla de tal manera que los electrones realicen

un vaivén bien sincronizado que permite, por efectos de interferencia constructiva, crear pulsos de luz muy cortos y muy intensos (ver figura 1). En cada punto de inflexión de esta trayectoria ondulante los electrones emiten radiación sincrotrónica. Estos laboratorios de tercera generación (figura 2) han sido inaugurados en la década pasada, y su número empieza a ser tan grande que es difícil enumerarlos en su totalidad. Podemos mencionar el "Advanced Light Source", en Berkeley, California, inaugurado en 1994, y el laboratorio "Elettra" en Trieste, Italia, puesto en marcha el mismo año, como ejemplos representativos. El sincrotrón que podría construirse en Morelos sería de una generación que podría denominarse 3.5, dado que incorporaría la mayor parte de los desarrollos madurados en la tercera generación, pero alcanzaría una brillantez aún mayor. Para dar un ejemplo al lector de cuán brillante es un sincrotrón, baste mencionar que el ALS en Berkeley produce en el rango del ultravioleta, una brillantez mil millones de veces más intensa que el sol en el rango de los rayos X. Esa brillantez permite "iluminar" proteínas y crear un contraste suficiente para poder determinar su estructura y su dinámica (figura 3). Gracias a este tipo de herramientas se pudo conocer, por ejemplo, la estructura de la hemoglobina, que es la proteína que se encarga en este mismo momento de llevar el oxígeno de los pulmones a todas las células de nuestros amables lectores, mientras leen estas líneas. La evolución de las fuentes de radiación sincrotrón no parece detenerse. La necesidad de radiación coherente, de mayor intensidad y de corta duración han llevado a fuentes del luz sincrotrón capaces de generar pulsos con duraciones de una milésima de millonésima de millonésima de segundo (i.e., de femtosegundos). Para ilustrar lo corto que es este tiempo, baste mencionar que un femtosegundo comparado con el tiempo que toma un corazón humano en latir (aproximadamente un segundo) es mil

veces más pequeño que un latido de corazón comparado con la edad del universo. Estas fuentes son de "cuarta generación" y actualmente hay unas cuantas a nivel mundial. Si el lector se pregunta por qué demonios es necesario generar pulsos tan cortos, baste mencionar que la hemoglobina de la que hablamos líneas arriba, y de la cual depende la vida de todos los lectores de este artículo, captura el oxígeno y se mueve y actúa justamente en la escala de femtosegundos. ¿Cómo sabemos lo anterior? Justamente con fuentes de luz tan rápidas que nos permiten ver proteínas como la hemoglobina moverse en tiempo real. Estas nuevas fuentes basarán su operación en la radiación producida por electrones libres que oscilan coherentemente ("free electron lasers") estimulados por la radiación

difracción de rayos X. Dado que la longitud de onda de los rayos X es del mismo orden que la separación de átomos en una proteína, estos se difractan. Haciendo un análisis matemático de los rayos difractados es posible inferir la estructura de este tipo de componentes de gran importancia en los seres vivos. Estudio de fotoionización, disociación, recombinación de moléculas y radicales libres de importancia atmosférica ( $O_2$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ). La interacción de la luz ultravioleta del sol con las moléculas presentes en la atmósfera superior da lugar a una rica fotoquímica de gran importancia para la vida del planeta. Simular este tipo de dinámica química en el laboratorio usando luz sincrotrón ha sido uno de los más grandes logros en el estudio de la atmósfera de nuestro planeta.



**Fotografía del laboratorio de radiación sincrotrón Europeo (ESRF) localizado en Grenoble Francia. Este laboratorio avanzado de luz sincrotrón de tercera generación está rodeado de un parque científico de innovación. Las fuentes avanzadas de luz sincrotrón en el mundo tienen la virtud de crear un ecosistema de innovación y ciencia avanzada alrededor de ellas. Por esta razón, y el impacto que la innovación tiene en nuestra sociedad, es una inversión muy rentable fudar laboratorios de este tipo.**

emitida por otros electrones dentro de la fuente. Basados en el gran éxito que las fuentes anteriores han tenido en distintas ramas aplicadas y fundamentales, es de esperarse una nueva generación de desarrollos científicos y tecnológicos, como resultado del desarrollo de estas nuevas fuentes de radiación sincrotrón.

### Usos de la radiación sincrotrónica.

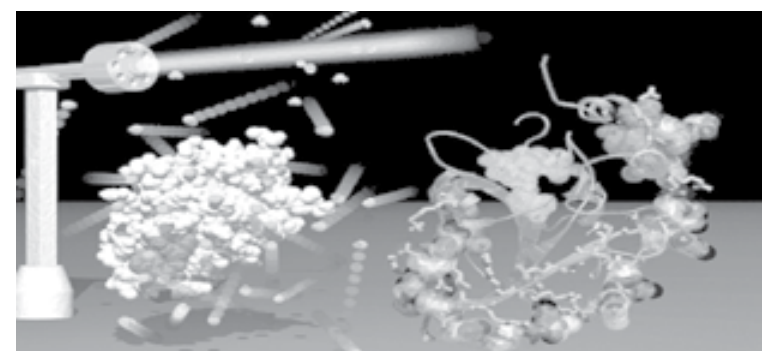
Presentamos aquí una lista de ejemplos, que de ninguna manera es exhaustiva, sobre algunas aplicaciones de radiación sincrotrón en ciencia de materiales, biología, ciencia de superficies y otras áreas. Caracterización de esfuerzos de tensión y esfuerzo en las uniones de alas de aviones. La distribución de esfuerzos en las juntas de alas de avión puede ser observada gráficamente usando rayos X suaves. Esto es porque la separación, a nivel atómico, de los átomos que componen el metal varía dependiendo de los esfuerzos. Al difractarse los rayos X de manera distinta en distintas regiones, se obtiene un mapa de esa distribución de esfuerzos. Estudio de la estructura de proteínas de importancia biológica, como la hemoglobina y la insulina me-

de ondas de frecuencias distintas.

### Comentarios finales

El desarrollo de las fuentes de radiación sincrotrónica nos proporciona un ejemplo clásico de cómo la investigación básica puede convertirse en una serie de aplicaciones en el campo tecnológico y de investigación fundamental. Esta evolución no es exclusiva de la radiación sincrotrónica. Al contrario, es una característica común en muchas áreas de investigación básica en física, el iniciar como un ejercicio motivado por la curiosidad, y desembocar en aplicaciones insospechadas. Estas aplicaciones y desarrollos tecnológicos modifican profundamente la manera en que vivimos, nos comunicamos, nos transportamos y, más aún, entendemos el mundo físico que nos rodea. En este sentido, la inversión que los gobiernos estatales o federales hagan para fomentar a la ciencia básica tiene un impacto profundo en las sociedades que la fomentan.

En este contexto, el anuncio del estado de Morelos de su deseo de apoyar la creación de un laboratorio de luz sincrotrón es más que bienvenido. Como comentario final, vale la pena mencionar que en México existen alrededor de 200 usuarios activos de fuentes de luz sincrotrónica. Dado que en México no hay aún una fuente de este tipo, estos usuarios, científicos de excelente nivel, compiten a nivel internacional con otros colegas para tener acceso a esas máquinas. Sería un avance genial si, habiendo tal número de gente interesada en estos estudios basados en luz sincrotrónica, y teniendo los recursos y la capacidad de construir un sincrotrón en Morelos, éste se convirtiera en una realidad. Sencillamente, el cambio en la ciencia en México sería radical: Representaría nuestra capacidad como comunidad para emprender proyectos de alto nivel y de alta complejidad para generar conocimiento e innovación. Esa capacidad es la base de las economías basadas en el conocimiento. Personalmente creo que podemos crear y merecer tener ese tipo de sociedades en México y en Morelos.



**La intensidad de la luz sincrotrón, combinada con la longitud de onda que puede alcanzar (desde mm hasta angstroms) hace de estas fuentes una herramienta muy poderosa para observar estructuras muy pequeñas. En la figura se muestra de manera artística la interacción entre el agua y una proteína. La dinámica y detalles estructurales de este tipo de interacciones, fundamentales para la vida, sólo es posible usando luz sincrotrón, representada como el haz azul en la parte superior derecha de la figura.**