

Matías Moreno y Manuel Torres

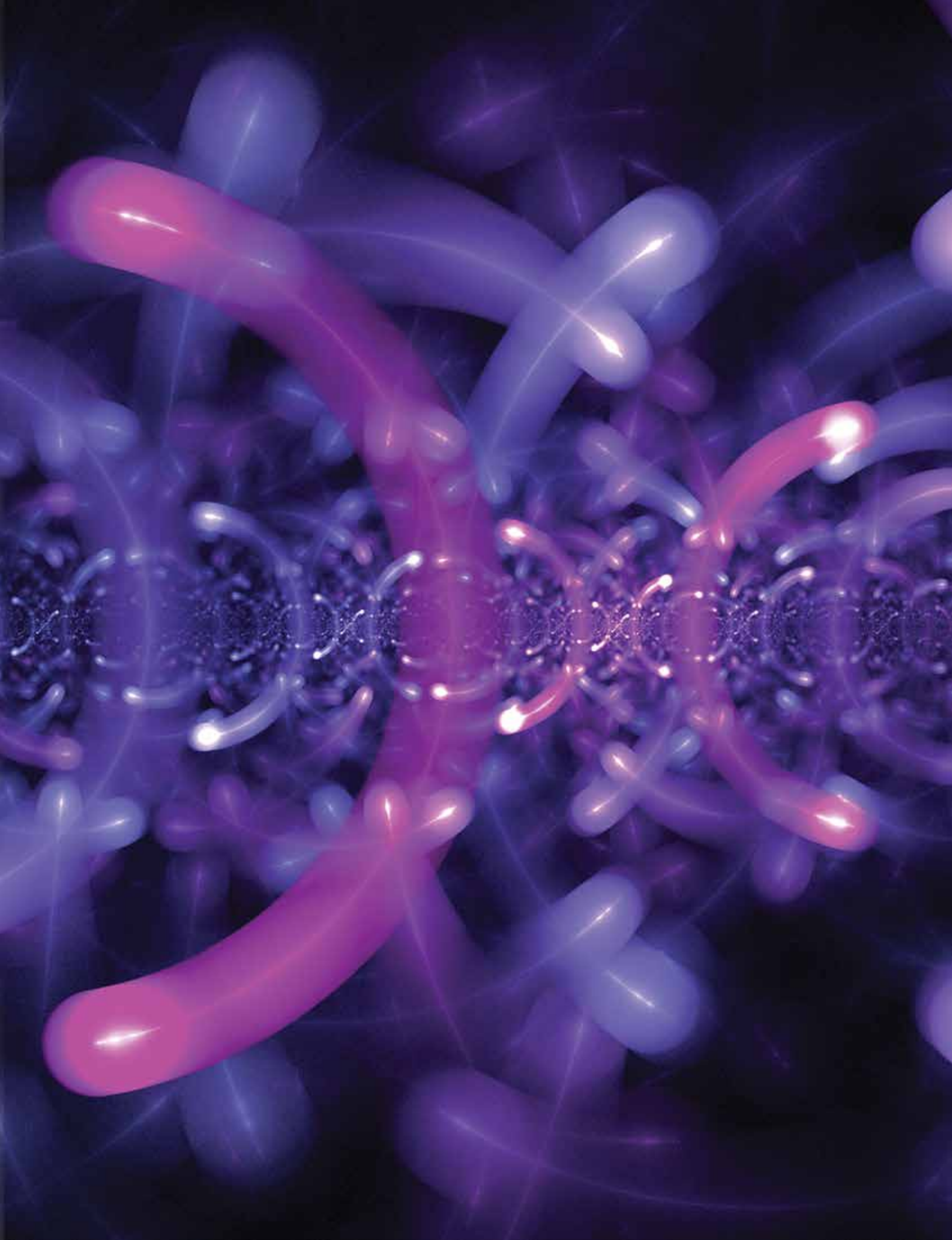
El sincrotrón, una nueva fuente de luz

Se presentan las principales características de una fuente de luz de sincrotrón moderna y las razones que desde el plano del desarrollo científico y tecnológico la hacen necesaria para el avance de nuestro país. Se compara con otras fuentes de luz, se perfila un camino posible para llevarla a la práctica y, finalmente, se discuten los retos que implicaría construir esta infraestructura.

¿Qué es una fuente de luz de sincrotrón (FLS)?

La luz de sincrotrón fue predicha a finales del siglo XIX y observada por primera vez, con sorpresa, en 1947 en los laboratorios de General Electric durante una verificación del funcionamiento de un sincrotrón. En primera instancia, un sincrotrón es un acelerador de partículas cargadas eléctricamente; a través de campos magnéticos se guía a dichas partículas en un circuito cerrado para que pasen una y otra vez por la misma región de aceleración de manera sincronizada, esto es, se enciende la región de aceleración sólo cuando pasa la partícula cargada. Aunque el objetivo inicial de los sincrotrones era acelerar partículas, resultaron ser muy eficientes para producir luz. Esto se debe a que la potencia total de la radiación emitida por una partícula cargada es proporcional al cuadrado del producto de la carga y de su aceleración. Este detalle técnico hace que los sincrotrones, principalmente los de electrones, alcancen rápidamente un límite en el cual radian una energía comparable a la que se les puede restituir en cada ciclo.

Así, por ejemplo, un sincrotrón de electrones de un centenar de metros de diámetro, sujeto a un campo magnético de un Tesla (T) y con electrones de energía cinética de unos pocos giga-electronvoltios (GeV), produce una enorme radiación de sincrotrón. El espectro es tal que se puede obtener un pico de emisión en rayos X y, con esto, una fuente de luz de sincrotrón (FLS).





Lo que era un obstáculo para la física de altas energías dio lugar, a partir de la sexta década del siglo XX, a poderosas fuentes de luz que resultaron esenciales para la investigación científica. En consecuencia, los sincrotrones de electrones se han multiplicado y perfeccionado a lo largo y ancho del mundo; en efecto, hay unos 50 sincrotrones de electrones especializados en la producción de luz. La característica que los hace únicos es la altísima brillantez de su luz en un amplio espectro de emisión, que abarca desde el infrarrojo hasta los rayos X.

¿Por qué tener una FLS en México?

Es significativo que la mayoría de los países con economías comparables a la nuestra se hayan hecho de una FLS desde hace varias décadas. Así ha ocurrido en Corea del Sur, Taiwán, China, Brasil y, más recientemente, España y Jordania. Otros países, como Polonia, están hoy mismo en el proceso de

construir su primera FLS, y algunos más se encuentran diseñando o construyendo la segunda.

En las naciones desarrolladas se tiene una FLS por cada 30 millones de habitantes. Como nos dijo hace un par de años el director de la Advanced Light Source, de Berkeley, en California (EUA), el doctor Roger Falcone: “las FLS son hoy en día *commodities*”, esto es, prácticamente bienes básicos, puesto que son una versátil infraestructura de uso múltiple con cientos de técnicas disponibles para desarrollos en diversas áreas del conocimiento. Una sola FLS moderna da servicio de manera simultánea a decenas de líneas de luz, cada una de ellas con técnicas específicas.

Una FLS se trata en realidad de una instalación científica que alberga a decenas de laboratorios que adaptan las propiedades de la luz del sincrotrón a su estudio particular: desde técnicas para desarrollar materiales que nos permiten ver en la oscuridad usando la parte infrarroja del espectro hasta estudios



Figura 1. Fuente de luz de sincrotrón española, ALBA.

del patrimonio cultural que, mediante rayos X de alta intensidad, permiten descifrar endebles pergaminos que se destruirían al intentar desplegarlos.

Tener una FLS es, literalmente, abrir un mundo de oportunidades para la investigación básica y aplicada, así como también para el desarrollo tecnológico e industrial. Para quienes se han asomado a las posibilidades que brinda una FLS la pregunta no es si México debe tener una, sino ¿por qué no la tiene desde hace 30 años?

El problema mayor que un país –así sea la décimo cuarta economía mundial– enfrenta para construir y utilizar una FLS es el financiamiento. Podemos tener una idea del costo de una instalación de este tipo a partir de la FLS española ALBA: unos 209 millones de euros que se utilizaron entre 2006 y 2011 durante la etapa de construcción, a lo cual hay que agregar un gasto estimado de 10% adicional en el periodo de diseño y gestión entre 2003 y 2006. El proyecto español, a diferencia del brasileño de 1987, no se construyó totalmente en el país, sino que se compraron a terceros partes críticas, como los imanes que actúan como guía del haz. Pero típicamente el gasto principal es la infraestructura civil, por lo que como proporción del gasto total aun ALBA tuvo un efecto importante en la economía regional. Cabe resaltar que un aspecto crítico que permitió la construcción de esta FLS dentro del periodo y presupuesto programados fue que el flujo de recursos financieros se realizó de acuerdo con el calendario originalmente planeado. El resultado de dicha gestión fue una instalación con la cuarta parte de las líneas experimentales instaladas y una FLS operativa que correspondía a las necesidades de la comunidad española de usuarios.

Con los ejemplos de Brasil y España se muestra el empeño de estas dos naciones con economías semejantes a la nuestra y que en el siglo XX tenían un desarrollo científico y tecnológico también similar. La decisión de construir y operar una FLS ha sido, como regla general, un parteaguas en el desarrollo de las ciencias nacionales. La inversión anual, aun en los periodos de máximo gasto (del 2.º al 5.º año de la construcción), no afecta el funcionamiento del resto del sistema científico-tecnológico; al contra-

rio, se han atraído recursos frescos para el sector. Los beneficios son los de contar con un centro focalizado, profesional y de alto rendimiento para los centros de investigación y desarrollo de cada país. La calidad y la cantidad de la investigación científica en múltiples áreas se pueden comprobar.

Adicionalmente, los efectos económicos de al menos una FLS se han medido. Es el caso de una de las primeras que fue construida: Daresbury, en Inglaterra. La inversión tuvo una tasa de retorno de 1.6, lo que es excepcional para un desarrollo de infraestructura científico-tecnológica.

Asimismo, el prestigio científico, tecnológico y académico que brinda construir una instalación de estas proporciones, con el dilatado espectro de aplicaciones y la incidencia en un número creciente de disciplinas que ven multiplicadas sus capacidades de análisis, fortalece amplios sectores de las ciencias de la vida, las ciencias de los materiales, la materia condensada, así como la nanotecnología –que en especial se fortalece al tener una fuente de rayos X suaves y duros–. Pero también los estudios de preservación del patrimonio cultural, la arqueología y la paleontología adquieren nuevas metodologías de punta. Hoy en día miles de científicos, ingenieros, médicos y restauradores de arte usan una FLS moderna bien planeada y financiada. De igual manera, un buen número de industrias puede incrementar su competitividad al contar con una FLS nacional: la rama farmacéutica, la cementera, la petroquímica y el desarrollo de materiales relevantes para la producción de energías limpias. Literalmente hay miles de aplicaciones industriales, por lo que entre los beneficios de las FLS también está un incremento real en la interacción virtuosa entre las empresas y la academia.

La inmensa mayoría de las FLS han sido proyectos nacionales, como corresponde a una instalación cuyo núcleo central de actividad es la investigación científica-tecnológica. Con todo, éstas han permitido un vínculo particularmente efectivo en al menos dos vertientes: durante la planeación, construcción y ejecución del proyecto, se requiere desarrollar habilidades en distintas ramas de la ingeniería civil, mecánica, eléctrica, computacional y



Figura 2. Esquemas de las líneas experimentales: (izquierda) del sincrotrón del Reino Unido, Diamond, con sus usos principales y (derecha) estructura genérica de las líneas.

otras; y una vez que la FLS está en funcionamiento, la relación con el sector privado se modifica: de ser una consumidora de servicios, se convierte en proveedora. Para eso se requiere un trabajo importante de comunicación y entrenamiento en las posibilidades de uso por parte de las empresas; esto es, transformarlas en usuarios capacitados de las múltiples posibilidades de estas instalaciones.

■ Alternativas para las FLS

■ En principio existe la posibilidad de optar por las llamadas fuentes de luz compactas (FLC), que brindan algunas de las técnicas de una FLS en un diseño de menor magnitud y, por lo tanto, de menor costo, pero inevitablemente a cambio de un desempeño limitado. Hay varios tipos de estas fuentes según los fenómenos físicos que utilizan para producir luz, pero en general recurren a la interacción de láseres con electrones o con gases; lo que se obtiene es luz en regiones limitadas del espectro electromagnético, a diferencia de las FLS, que cubren desde el infrarrojo hasta los rayos X. Algunas de estas fuentes compactas son ya una realidad a nivel comercial (Lyncean Technologies).

Pero aparte de las ya mencionadas, son varias las limitaciones mayores: 1) la brillantez lograda por las FLC es comparable a las FLS de la década de 1970; 2) como laboratorios pueden brindar servicio solamente a una línea de luz experimental, máximo dos;

y 3) hasta ahora su principal aplicación se restringe a la imagenología.

Todavía las fuentes compactas no brindan los servicios y las técnicas de una FLS de tercera generación. Sin embargo, habría que evaluar la conveniencia de instalar una FLC, como un estadio intermedio en el camino para finalmente tener una FLS de tercera generación en México. El proceso completo constituiría un paso significativo y de enorme ayuda para poder transitar en nuestro país hacia la economía del conocimiento e impulsar un sistema robusto de ciencia, tecnología e innovación.

Adicionalmente, se puede considerar la posibilidad de asociarse a uno de los sincrotrones existentes, con la finalidad de diseñar y operar una línea de experimentación dedicada a un campo de conocimiento específico que sea de interés para la comunidad científica de nuestro país. Este proceso, que ha probado ser de gran utilidad en las experiencias de proyectos previos, brindaría un entrenamiento y experiencia sumamente útil en el camino a seguir para la instalación de la FLS mexicana.

■ Conclusiones

■ Las FLS son un proyecto de ciencia de gran escala formado por decenas de laboratorios especializados. Las líneas experimentales, compartidas por miles de usuarios al año, tienen la capacidad de brindar en

cuestión de horas métodos de análisis que, de otra forma, tomarían meses; asimismo, se pueden realizar experimentos que en otras condiciones serían imposibles de llevar a cabo. El monto de la inversión es importante, pero los beneficios para el país serían extraordinarios.

Además, es necesario resaltar que actualmente existe una ventana de oportunidad en el desarrollo de una FLS de avanzada, en la cual ha trabajado un grupo de colegas mexicanos para incorporar una nueva tecnología en el sistema de almacenamiento del haz de electrones. Se trata de la arquitectura MBA (Multi-Bend Achromat), que acerca el haz de electrones al límite de difracción en los rayos X. Hay una sola FLS que posee esta tecnología: MAX IV, en Suecia. Varias FLS están en proceso de actualizar su anillo de almacenamiento con la finalidad de incorporarla o, como en Brasil, se está construyendo una siguiente FLS en esta dirección. México tendría la posibilidad de contar con una instalación de punta a un costo no mayor del de las FLS modernas que operan hoy en día.

Terminamos con la reflexión que nos hizo hace ya siete años el doctor Joan Bordas, entonces director del sincrotrón español recientemente inaugurado: “Estoy seguro de que México tendrá una FLS... lo que no sé es cuándo”.

Matías Moreno

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.

matias@fisica.unam.mx

Manuel Torres

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.

torres@fisica.unam.mx

Los autores agradecen al ingeniero Rodolfo Leo Méndez su ayuda para coordinar la edición en línea de este trabajo y también la invitación de la Academia Mexicana de Ciencias para participar en este número.

Lecturas recomendadas

Carles, D. (2013), “ALBA Synchrotron Light Source. Infrastructure and General Services”, presentación en el CERN, noviembre, Ginebra.

Jackson, J. D. (1962), “Chapter 14. Radiation by moving charges”, en J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, Nueva York, John Wiley, 464-504.

Lightsources.org (2019), *lightsources.org*. Disponible en: <lightsources.org>, consultado en enero de 2019.

Malamud, E. (ed.) (2018), “Fuentes de luz avanzadas y cristalografía. Herramientas para el descubrimiento y la innovación”, *Proyecto LAAAMP*. Disponible en: <laamp.iucr.org/tasks/brochure>, consultado en enero de 2019.

Moreno, M. et al. (2015), “Plan estratégico para construir y operar un sincrotrón en Morelos”, Proyecto Fomix 24392, Conacyt. Disponible en: <http://www.fisica.unam.mx/sincrotron/main/libros.html>, consultado en enero de 2019.

Moreno, M. et al. (2018), *La fuente de luz de sincrotrón mexicana*, México, Fondo de Cultura Económica.

Moreno, M. y O. Novaro (2017), *El sincrotrón mexicano*, México, El Colegio de México.

Mtingwa, S. y H. Winick (2018), “Synchrotron light sources in developing countries”, *Modern Physics Letters A*, 33(9):1830003 [publicación electrónica].

