

La construcción de la nueva fuente de luz sincrotrón brasileña de última generación llega a su etapa final y puede elevar la calidad de la investigación científica que se hace en el país

UN SALTO HACIA UN BRILLO MAYOR



Detalle de un ondulator, un conjunto de magnetos que hace que los electrones serpenteen en el interior del anillo de almacenamiento y liberen energía en forma de luz sincrotrón

TEXTO **Ricardo Zorzetto**

FOTOS **Léo Ramos Chaves**, desde Campinas, São Paulo

PUBLICADO EN JULIO DE 2018

Eran casi las seis de la tarde del jueves 17 de mayo cuando el ingeniero electricista Sergio Marques aprovechó para estirar las piernas y buscar energía en otra taza de café. Luego reanudaría las mediciones que su equipo venía efectuando desde el comienzo de la semana, a veces durante 24 horas seguidas, junto al grupo de la física brasileña Liu Lin. Marques y Lin son investigadores del Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS) con sede en la localidad de Campinas, en el interior de São Paulo, Brasil, y estaban probando los componentes de un acelerador lineal de electrones adquirido por un valor de seis millones de dólares al Instituto de Física Aplicada de Shanghái, en China. Instalado durante las semanas anteriores en un túnel de 32 metros blindado con paredes de hormigón armado, este aparato dispara cada medio segundo paquetes microscópicos de billones de esas partículas de carga eléctrica negativa a velocidades cercanas a la de la luz. Y alimentará el mayor, más complejo y más versátil instrumento de investigación construido en el país hasta el día de hoy: Sirius, una fuente de última generación productora de radiación sincrotrón, un tipo especial de luz que permite investigar la estructura de la materia a la escala de los átomos y la de las moléculas.

Sirius se encuentra en construcción desde 2014 en el Centro Nacional de Investigación en Energía y Materiales (CNPEM), a 15 kilómetros de Campinas, y estará listo para una prueba inicial a finales de este año, eso si es que se giran los fondos que se le solicitaron meses atrás al gobierno federal y que este aprobó. La nueva fuente de luz sincrotrón es un acelerador de partículas compuesto por tres partes, montado en una edificación de 68 mil metros cuadrados que debe permanecer lo más aislada posible de las alteraciones de temperatura y las vibraciones del exterior, incluso aquellas generadas por el tránsito de camiones de la carretera que une Campinas a la localidad de Mogi-Mirim y que pasa a dos kilómetros de allí.

Sirius fue proyectado por los equipos del LNLS, y reemplazará a UVX, la primera fuente de luz sincrotrón del hemisferio Sur, construida en la década de 1990 y que hoy en día ha dejado de ser competitiva. De sus piezas, el 90% se desarrolló en los talleres del LNLS, o fueron diseñadas y producidas por empresas brasileñas de alta tecnología. El acelerador lineal constituye una excepción. “Por una cuestión de plazo, les encomendamos una máquina con especificaciones de altísimo nivel a los científicos que habían obtenido en Shanghái una fuente de luz de tercera generación, una generación anterior

Una luz especial

Cuando entre en actividad, posiblemente en 2019, Sirius será una de las fuentes de radiación sincrotrón de mayor brillo en el mundo

FUENTES: HARRY WESTFAHL JR/ LNLS/ CNPEN Y PROYECTO SIRIUS, LA NUEVA FUENTE DE LUZ SINCROTRÓN BRASILEÑA

DE LOS ELECTRONES A LA RADIACIÓN

1

ACELERADOR LINEAL

Electrones liberados por un filamento de metal caliente son disparados en un acelerador lineal de 32 metros de longitud hasta una velocidad cercana a la de la luz con una energía de 0,15 giga-electronvoltios (GeV), e inyectados en el booster

2 EL BOOSTER

En el interior de un anillo menor e interior, los electrones adquieren energía al pasar por una cámara de radiofrecuencia y llegan al nivel de 3 GeV

3 EL ANILLO DE ALMACENAMIENTO

Con energía máxima, los electrones se mantienen en una trayectoria estable en el anillo mayor, de 518 metros de circunferencia, mediante conjuntos de magnetos (imanes) especiales

4 LA RED MAGNÉTICA

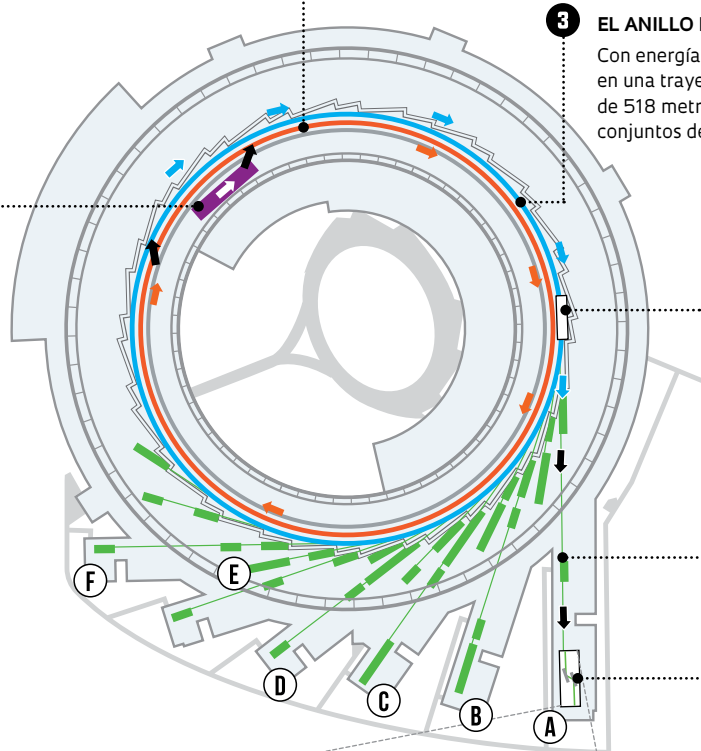
Al pasar por dipolos y onduladores, los electrones sufren desvíos de trayectoria y pierden una fracción de su energía en forma de luz: es la luz o radiación sincrotrón, que abarca un amplio rango de energía (del infrarrojo a los rayos X)

5 LA LUZ SINCROTRÓN

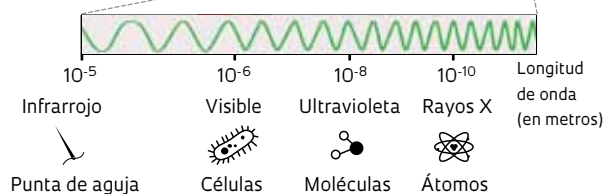
La luz sincrotrón sale tangencialmente al anillo y se dirige hacia las estaciones experimentales

6 LAS ESTACIONES EXPERIMENTALES

Son conjuntos ópticos análogos a prismas instalados en esas estaciones que permiten seleccionar la franja de la radiación que se utilizará para analizar las muestras. Cada franja se adecúa a la observación de estructuras a escalas de distintas magnitudes, que van de la fracción del milímetro al nanómetro



Sirius está instalado a unos 15 kilómetros al norte de la ciudad de Campinas, en el estado de São Paulo



LAS LÍNEAS INICIALES

De las 13 líneas de luz planificadas para integrar Sirius, las seis indicadas arriba (de la A a la F) serán las primeras que entrarán en actividad

A

CARNAÚBA

Será la más larga de las líneas de luz, con 145 metros de longitud. Su haz de rayos X permitirá observar objetos de 30 nanómetros (una resolución mil veces superior a la de UVX, la fuente de luz actual). Hará posible el análisis bi y tridimensional de materiales catalizadores, semiconductores y biológicos con resolución nanométrica

B

CATERETÊ

La línea de rayos X permitirá obtener imágenes tridimensionales de células vivas y registrar fenómenos dinámicos del orden de las fracciones de segundo, tales como alteraciones en las moléculas de ADN. Posibilitará observar la interacción entre elementos químicos en distintos materiales y definir la estructura nanométrica de aceites y polímeros

C

EMA

Su haz de rayos X de alto brillo producirá imágenes a escala nanométrica de materiales bajo condiciones extremas (temperatura, presión y campo magnético elevados), importante para la investigación de materiales superconductores. Alimentará equipos en dos estaciones experimentales

D

MANACÁ

Será la primera línea que se montará en Sirius, cuya conclusión está prevista para abril de 2019. Su haz de rayos X se empleará para analizar cristales de proteínas, lo cual permitirá obtener imágenes tridimensionales de esas moléculas con la localización precisa de cada átomo

E

MOGNO

Una de las más energéticas de las líneas de rayos X de Sirius, que generará en segundos imágenes 3D de estructuras nanométricas de materiales densos. Será capaz de penetrar centímetros en rocas de reservas de petróleo. La fuente actual analiza muestras con fracciones de milímetros de espesor. Permitirá estudiar animales vivos

F

IPÊ

Esta fuente trabajará con rayos X de baja energía y posibilitará mapear los electrones responsables de las propiedades físicas de los materiales, tales como el magnetismo o la conductividad eléctrica. Permitirá observar la formación de uniones químicas entre átomos de materiales en estado sólido, líquido y gaseoso

a la de Sirius, y nos suministraron información sobre casi todas las partes del acelerador”, explica Marques, quien empezó a trabajar en el UVX en 1997, a los 16 años, y encabeza el grupo diagnóstico del LNLS, que monitorea el haz de electrones y la calidad de la luz sincrotrón que llega a las estaciones experimentales.

Cuando se encuentre en plena actividad, Sirius será, aun cuando lo sea durante un lapso de tiempo limitado, la fuente de luz sincrotrón más avanzada del mundo y también la de mayor brillo en el rango de los rayos X en su tipo de energía (léase el artículo de la página 24). De modo simplificado, esto significa que el acelerador permitirá extraer, de los electrones viajando a casi 300 mil kilómetros por segundo, haces muy concentrados de una luz que penetra profundamente incluso materiales densos como las rocas, y que permite producir imágenes nítidas de puntos ubicados a pocos nanómetros entre sí (millonésimas del milímetro). Su brillo intenso acortará de horas a segundos el tiempo de obtención de las imágenes de las muestras, algo importante en el estudio de materiales biológicos, que se degradan rápidamente. La disminución del tiempo destinado a la producción de cada imagen permitirá obtener una cantidad mayor de las mismas por segundo y reconstituir el movimiento de fenómenos muy rápidos del mundo de los átomos y las moléculas, tales como la interacción entre dos compuestos o el movimiento de los iones en la carga y descarga de las baterías.

El poder de resolución de Sirius será superior al de las fuentes de luz sincrotrón de tercera generación, como la máquina actual del European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), con sede en Francia, donde la investigadora israelí Ada Yonath realizó parte de los experimentos que definieron la estructura tridimensional del ribosoma, el orgánulo productor de proteínas en las células, que le redituaron el Nobel de Química de 2009. Las imágenes de Sirius también tendrán una resolución mil veces superior a la de UVX, una fuente de segunda generación que, aun estando desfasada, le permitió al equipo del físico Glaucius Oliva, do-



Estructura tridimensional de la proteína NS5 del virus del Zika, definida átomo por átomo

cente de la Universidad de São Paulo (USP) de São Carlos, detectar la estructura tridimensional de la proteína NS5, esencial para la reproducción del virus del Zika.

Con la nueva máquina de Campinas, se espera ir más allá e identificar la estructura tridimensional de proteínas mayores y más complejas, de interés para la biología y la industria de fármacos, aparte de estudiar materiales de interés de la industria (véase la infografía en la página de al lado). “Sirius está muy cerca del límite de aquello que la ingeniería permite construir y será capaz de producir ciencia competitiva internacionalmente al menos durante una década”, afirma el físico Antônio José Roque da Silva, director del LNLS y del proyecto de Sirius. Docente de la USP y experto en modelado matemático de materiales a escala atómica, Roque da Silva llegó al LNLS en 2009 con dos misiones: mejorar UVX, un aparato que, vetusto, empezaba a perder usuarios y expertos, que partían rumbo a instituciones del exterior, y llevar adelante el proyecto de construir su reemplazante. Su nombre, Sirius, surgiría más tarde, tomado como préstamo a la estrella más brillante del cielo nocturno.

De entrada, Roque da Silva buscó la ayuda de dos antiguos colaboradores del LNLS: el ingeniero civil Antonio Ricardo Droher Rodrigues, uno de los tres brasileños que lideraron la construcción de UVX entre 1987 y 1997, y el físico francés Yves Petroff, quien dirigió laboratorios de luz sincrotrón en Francia y participó en el proyecto de la primera fuente brasileña. “UVX ya no tenía capacidad para competir y optamos por mejorar nichos en los cuales podríamos producir trabajos relevantes mediante el uso de la radiación infrarroja y ultravioleta”, comenta Roque da Silva. Al mismo tiempo, el trío perfeccionó el proyecto de una fuente de tercera generación elaborado por el equipo del físico José Antônio Brum, quien dirigió la Asociación Brasileña de Tecnología de Luz Sincrotrón (ABTLuS), actual CNPEM, entre 2001 y 2009. Tres años más tarde, con un proyecto maduro en manos, Roque da Silva y su equipo lo remitieron a un comité científico internacional.

En el informe final, los miembros del comité afirmaron que el diseño de la nueva fuente era excelente para los estándares de la época, pero recomendaron que se buscara el nivel de brillo que regiría en el futuro. “No había una máquina en funcionamiento en el mundo con las características que ellos sugerían”, recordó Roque da Silva durante la mañana de 17 de mayo, en su despacho del LNLS. “Era la posibilidad de salir a la delantera durante un tiempo con respecto a Estados Unidos, Japón y países de Europa.”

Los equipos del LNLS regresaron a sus mesas de proyectos y reanudaron las pruebas de los apa-

Imagen aérea del edificio de Sirius, tomada a mediados de junio



ratos. Liu Lin y su grupo, responsables de la física de aceleradores en el LNLS, rediseñaron la red magnética de Sirius para que su brillo superase al de las máquinas existentes. Seis meses después, el comité aprobó el nuevo proyecto, presupuestado en 585 millones de dólares (en esa época, 1.300 millones de reales). La obtención de una financiación estable era fundamental, pero era tan sólo una parte del problema. “Tuvimos que conseguir el terreno destinado a la construcción y definir las características del edificio mientras rediseñábamos la máquina y le buscábamos una salida a las cuestiones tecnológicas”, comentó Roque da Silva. “Hubo momentos en que hacíamos equilibrio con 20 platos en el aire.”

Los primeros nueve millones de reales para el anteproyecto fueron desembolsados en 2009 y 2010 por el entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT), durante la gestión (2005-2010) del físico Sergio Rezende, quien conociera el proyecto de Brum en 2008. Pero faltaba definir cuál sería la fuente de dichos recursos que, en un primer momento, provendrían del MCT (el actual MCTIC, tras la incorporación de las áreas de Innovación y Telecomunicaciones), el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) y agencias científicas de fomento. Otros dos ocupantes se sucedieron al frente del ministerio y giraron 77 millones de reales para el proyecto hasta que, en 2014, el ingeniero Clélio Campolina Diniz dio luz verde para que se pusieran en marcha las obras civiles y propuso un presupuesto de 240 millones de reales para 2015. Al año siguiente, Sirius quedó incluido en la segunda edición del Programa de Aceleración del Crecimiento (PAC) y actualmente es una de las obras del Programa Avanzar.

La oscilación del dólar, la inflación y las mejoras en la fuente de luz y en la edificación elevaron el valor de Sirius a 1.800 millones de reales. “Es el único proyecto brasileño de tales dimensiones sin atrasos importantes”, afirma el ingeniero electrónico y físico Rogerio Cezar de Cerqueira Leite, presidente del Consejo Administrativo del CNPEM, una organización social vinculada al MCTIC que es la gestora del LNLS.

Pedro Wongtschowski, ingeniero químico que presidió el Consejo Administrativo del CNPEN de 2010 a 2015, atribuye el cumplimiento del cronograma y la escasa alteración de los valores en juego a la adopción de un modelo de gobernanza aplicado a proyectos de gran porte en el sector privado. “La ejecución sólo empezó una vez concluido un proyecto ejecutivo detallado, la contratación de obras se concretó mediante una licitación cuidadosa y se adquirieron primeramente los equipos cuya entrega requería un plazo mayor”, recuerda. “También se aprovechó la construcción de Sirius



El ingeniero Rafael Seraphim realiza una prueba del sistema de vacío de las cámaras que conducirán los electrones. Al lado, magnetos cuadrupolares, uno de los componentes del anillo de almacenamiento

para desarrollar componentes con proveedores nacionales, una etapa que contó con el apoyo de la FAPESP”, comenta Wongtschowski, actual presidente del Consejo Administrativo del grupo Ultrapar Participações y miembro del Consejo Superior de la FAPESP.

Del costo total previsto, el MCTIC ya ha girado 1.160 millones de reales, de los cuales 760 millones llegaron durante la gestión de anterior ministro, Gilberto Kassab, comenta De Cerqueira Leite, quien desempeñó una labor fundamental en la década de 1980 en la instalación de UVX. Para el científico, Sirius solo sobrevivió a la retracción económica reciente porque el proyecto se fue granjeando poco a poco el compromiso de “las autoridades y los políticos de Brasilia”, sumado al de sus mentores y el de la comunidad científica.

Esta es una conclusión similar a la que arribaron años atrás dos investigadores que analizaron el proceso de creación e implementación de UVX. Léa Velho, docente del Departamento de Política Científica y Tecnológica de la Universidad de Campinas (Unicamp), y Osvaldo Frota Pessoa Junior, docente del Departamento de Filosofía de la USP, evaluaron los argumentos que motivaron la construcción del primer sincrotrón brasileño y las negociaciones que permitieron que el mismo saliera del papel. En un artículo de 1998 publicado en la



revista *Social Studies of Science*, afirmaron que el apoyo al proyecto provino más bien de sectores de la política científica que de los científicos y los potenciales usuarios. Escribieron también que la habilidad política de los pocos científicos comprometidos fue crucial para su implementación.

“Sirius constituye un intento de promover un nuevo salto de calidad en la ciencia nacional”, analiza el físico argentino Aldo Craievich, quien, a los 79 años, y ya jubilado de la USP, aún investiga usando la máquina UVX. Junto al físico Cylon Gonçalves da Silva y Ricardo Rodrigues, Craievich integró el trío que coordinó la construcción del primer sincrotrón nacional.

El proyecto de instalar en Brasil un equipamiento destinado a hacer ciencia a gran escala –la *Big Science* o megaciencia, que se puso en marcha en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial con el proyecto de la bomba atómica– nació en el Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF, en portugués), en Río de Janeiro, a comienzos de la década de 1980, con el físico Roberto Leal Lobo e Silva Filho. Con el apoyo de Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque, en ese entonces presidente del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), Leal Lobo llevó adelante el proyecto hasta el comienzo del gobierno democrático, en 1985. Con la creación del MCT, fue reemplazado por Gonçalves da Silva, quien contaba con el apoyo del ministro Renato Archer.

“Cuando se decidió la construcción de la primera fuente de luz sincrotrón, el único modelo de funcionamiento que tenía sentido era el de un laboratorio nacional en los moldes estadounidenses, abierto a usuarios de instituciones de investigación científica y de empresas del país y del exterior”, comenta Gonçalves da Silva. “La construcción de la máquina era una justificación para formar personal calificado con el objetivo de generar tecnología en Brasil, gente capaz de producir ciencia en

El hall donde se instalará una parte de las estaciones experimentales del Sirius

la frontera del conocimiento. Acertamos al optar por proyectar y construir lo máximo posible acá en casa, lo cual generó el conocimiento aplicado en Sirius”.

La construcción de equipamientos para hacer ciencia a gran escala requiere un flujo continuo de fondos y capacidad técnica y científica, y casi siempre genera disputas. Fue así con UVX y, a una escala menor, con Sirius. Tras la aprobación del proyecto de la primera fuente nacional de luz sincrotrón, la dirección de la Sociedad Brasileña de Física publicó un manifiesto en contra del proyecto. Afirmaba en él que no había en el país capacidad técnica para construirlo, que no existirían usuarios y que drenaría los recursos de otras áreas de

la ciencia y la tecnología. “Ninguno de esos pronósticos se concretó”, recuerda Rodrigues, coordinador de aceleradores del Sirius. “Construimos la máquina, los usuarios vinieron y actualmente son 6.200 los registrados; y el nivel de financiación aumentó en todas las áreas.”

“Las instalaciones de gran porte como Sirius son caras en cualquier lugar del mundo, pero se pagan con el tiempo”, afirma Fernanda De Negri, economista del Instituto de Investigaciones Económicas y Aplicadas (Ipea, en portugués). Su costo representa un 0,05% del presupuesto público brasileño (los ingresos del gobierno), del orden de los 3,5 billones de reales. “En muchas áreas, infraestructuras como ésta son necesarias para producir ciencia de calidad, capaz de generar innovación para que el país sea más competitivo económicamente”, dice la investigadora, quien presentó en junio el libro *Novos caminhos para a inovação no Brasil* (editorial Wilson Center), en el cual menciona a Sirius como un raro ejemplo en el país de planificación científica a largo plazo.

“Desde el proyecto de la bomba atómica y la misión Apollo, la ciencia dejó de hacerse sólo con pequeñas inversiones y una visión a corto plazo”, asevera Glauco Arbix, docente del Departamento de Sociología de la USP. “Es necesario tener una visión a mediano y largo plazo, e irrigar el sistema de manera tal de alimentar laboratorios menores y crear proyectos de relevancia científica, económica y social, capaces de elevar el nivel de la ciencia brasileña y aumentar su impacto”, sostiene Arbix, quien presidió entre 2011 y 2015 la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep), el ente federal brasileño de fomento de la innovación. “Sin ello, el país seguirá patinando.” ■

Artículo científico

VELHO, L. y PESSOA JR., O. The decision-making process in the construction of the Synchrotron Light National Laboratory in Brazil. *Social Studies of Science*. v. 28, n. 2, p. 195-219. abr. 1998.