UN ASUNTO DE ESTADO:
LA CONSTRUCCIÓN DEL PRIMER

SINCROTRÓN

EN MÉXICO

Víctor del Río Bello

MORELOS PODER EJECUTIVO | Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología

MORELOS PODER EJECUTIVO | Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos

CONACYT FORDECyT
Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación.

D.R. © Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos (CCYTEM)
Avenida Atlacomulco, esquina Calle de La Ronda #13,
Colonia Acapantzingo, C.P. 62440, Cuernavaca, Morelos.

© Víctor del Río Bello
Un asunto de Estado: la construcción del primer Sincrotrón en México
Primera edición, abril del 2018

Derechos reservados conforme a la ley
ISBN: 978-607-95261-2-2

Editado por:
María Brenda Valderrama Blanco
Lidia Jiménez Lima

Diseño
Ernesto Alonso Navarro

ÍNDICE

Prefacio 8
Agradecimientos 11
Introducción 12

SINCROTRÓN ALBA 14

Antecedentes 15
Génesis del Alba
Marco Jurídico 19
Selección de la ubicación del Sincrotrón Alba 20
Alianzas con otros sincrotrones

Acceso a las líneas experimentales 21
El sincrotrón en la academia
Comunicación, redes sociales e internet
El sincrotrón como magneto para atraer otros centros de investigación, industrias y servicios de punta 22

Decidiendo qué tipo de sincrotrón construir 23
Formación de usuarios 24
Ligas sincrotrón–industria 26
Estructura del personal 27

Construcción 28
Programa de actividades
Licitaciones 30
Transición de la estructura de personal de construcción a operaciones 33

Lecciones aprendidas 34
Recomendaciones 35
Análisis FODA 36
Conclusiones 37

SINCROTRONES BRASILEÑOS 38

Antecedentes 39
LNLS (Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón)
Marco jurídico 43

Selección de la ubicación del Sincrotrón LNLS 45
Estrategia general

Decidiendo qué tipo de sincrotrón construir
Construcción y equipamiento 46
Miembros del equipo LNLS 48
Formación de usuarios 49

Construcción 52
Licitaciones públicas
Estructura organizacional 53
Líneas experimentales 55

Lecciones aprendidas 56
Flujo de efectivo
Suministro de electricidad
Capacitación de usuarios 57
El costo personal
Transferencia de conocimiento a la Industria
El futuro del LNLS

SIRIUS 58
Selección del nombre
Selección de la ubicación 59
Modelo jurídico 65
Determinación del tipo de líneas de experimentación 66
Formación de usuarios 68
Desafíos 71

Lecciones aprendidas
Desarrollo de sistemas para manejar
recursos humanos altamente calificados

Recomendaciones 73
Análisis FODA 75
Conclusiones 77

SINCROTRÓN AUSTRALIANO 78

Antecedentes 79
Génesis
Crisis en el Sincrotrón Australiano 83
Selección de la ubicación 87
Alianzas con otros proyectos Sincrotrón

Acceso a las líneas experimentales extranjeras 88
Comunicación, redes sociales e Internet
El sincrotrón como magneto para atraer a otros centros de investigación, industrias y servicios de punta

Decidiendo qué tipo de sincrotrón construir 89
Formación de usuarios 90
Ligas Sincrotrón–Industria 91
Estructura de personal
Líneas de experimentación 92

Lecciones aprendidas
Impacto económico
Recomendaciones 93
Análisis FODA 94
Conclusiones 95

SINCROTRÓN SESAME 96

Antecedentes 97
Presupuesto 98
Selección de la ubicación 99
Oposición de la población local 100
Modelo jurídico 101

Diseño y construcción 102
Formación de usuarios 104
Estructura organizacional 105
Seguros

Primera luz de sincrotrón generada en el SESAME 106
Desafíos únicos del SESAME 107
Recomendaciones 108
Análisis FODA 110
Conclusiones 111

Anexos 112
Comentarios 115
Glosario 117
Referencias 119

PREFACIO

A todos los países, igual que a todas las familias, les llega el momento de tomar decisiones, y con ello no me refiero a las decisiones habituales, sino a aquellas que trastocan estructuras, las que se necesitan para habilitar y detonar potenciales. Para tener éxito, esas decisiones se deben tomar en el momento preciso; si se toman antes, se encontrarán con debilidad institucional y falta de respaldo social, y si se toman tarde, se habrá perdido la oportunidad de aprovechar al máximo los beneficios.

México está en el momento preciso para tomar decisiones. En febrero de 2018 tenemos la 14.ª economía más fuerte del mundo, recientemente reactivada por las reformas estructurales en los sectores energético y de telecomunicaciones y somos competitivos en generación de conocimiento científico en lo individual. Sin embargo, no destacamos en niveles de excelencia internacional por la falta de infraestructura mayor que atienda las necesidades tanto de los investigadores como de los industriales que dependen, como nunca, de la innovación para su trascendencia en los mercados globales.

Experiencias recientes, como las de Corea del Sur, Singapur o China, nos indican que es la articulación entre sectores la mejor y más eficiente manera de acelerar la economía basada en el conocimiento. Problemas globales como las enfermedades crónico degenerativas, la necesidad de incrementar la producción del campo y el impulso a las energías renovables son algunas de las áreas prioritarias que no sólo se están financiando en estos países, sino que sirven de objetivo para los esfuerzos de inversión.

En este sentido, adquiere cada vez mayor relevancia el concepto de Big Science, megaciencia en español, que consiste en la transición de la inversión pública de apoyar esfuerzos individuales a la construcción y operación de grandes proyectos al servicio de científicos nacionales y extranjeros. Ejemplo de esto es el Gran Colisionador de Hadrones, un túnel de 27 kilómetros de circunferencia construido en la Unión Europea con un costo de alrededor de cinco mil millones de dólares, que resultó una exitosa experiencia en el trabajo colaborativo de alto impacto en física de partículas.

La inversión en megaciencia ha demostrado cumplir con su función de habilitador para el sector científico internacional, pero también ha esparcido su derrama al sector industrial. Por un lado, el desarrollo de las ingenierías de alta precisión necesarias para la construcción de los proyectos habilita a las empresas para el desarrollo de otros proyectos difíciles de atacar sin la experiencia previa. Por otro lado, la complejidad de los proyectos demanda la generación de soluciones ad hoc que, una vez adaptadas, resultan ser de enorme valor tecnológico con impacto social. Ejemplo de esto son la internet desarrollada en el CERN durante la construcción del Gran Colisionador o la geolocalización por GPS generada durante la realización del proyecto de la Estación Espacial Internacional. Finalmente, estos proyectos resuelven problemas específicos del sector industrial en áreas estratégicas.

Con todos estos antecedentes, y respondiendo a la necesidad de nuestro país de dar el paso hacia inversiones de alto impacto, desde hace algunos años

se ha estado fortaleciendo el proyecto de construcción de un sincrotrón en México. Un sincrotrón es un generador de luz de alta intensidad, millones de veces más intensa que la luz del sol, llamada luz de sincrotrón. Esta luz es refinada y compactada en pequeños haces, miles de veces más angostos que un cabello, y que por su alta intensidad son capaces de penetrar la materia en la misma forma que lo hacen los rayos X pero con alta resolución, por lo que es posible vislumbrar no sólo moléculas, sino átomos invisibles con la luz natural. De igual manera, este haz de luz se puede acoplar a diferentes detectores que permiten analizar prácticamente cualquier tipo de objeto, desde muestras biológicas hasta piezas arqueológicas, rocas provenientes de pozos petroleros o materiales artificiales para generación de energías renovables.

Un Sincrotrón cumple con todas las características de un proyecto de megaciencia: es una infraestructura de uso colectivo para científicos locales y extranjeros, requiere de una importante inversión pública a largo plazo y resuelve las necesidades de grupos interdisciplinarios de especialistas, al mismo tiempo que provee soluciones al sector industrial. Actualmente hay más de 50 sincrotrones en operación alrededor del mundo, y mientras en ocasiones algunos países se asocian para construir uno, otros han construido dos o más. Todas estas características harían pensar que desde la instalación del primer generador de luz sincrotrón en Berkeley, California, a finales de 1930, el proceso de tomar la decisión de construir un Sincrotrón sería terso; nada más lejano de la realidad. Cada vez que un país ha decidido construir un sincrotrón el proyecto ha tenido que pasar por numerosas pruebas y rechazos.

Contrario a lo que se espera de manera intuitiva, la primera oposición proviene de la comunidad científica, a quienes les preocupa que ante la limitación de recursos el desarrollo del proyecto reduzca sus asignaciones individuales. Posteriormente son las instituciones quienes se oponen por diversas razones, unas por querer controlar el proyecto y otras porque consideran demasiado riesgosa su participación. Finalmente, y no por eso menos importante, la decisión de los responsables de la asignación de los recursos, tanto funcionarios como legisladores, tienden a evaluar el proyecto bajo criterios de beneficio político o electoral a corto plazo, encontrándolo poco favorable. La lista de los no es interminable; sin embargo, en la mayoría de los casos la persistencia de los promotores, así como el peso de la evidencia, acaban socavando la resistencia, por lo que se vuelve de enorme interés conocer algunas de estas historias, todas ellas humanas y enriquecedoras, con la finalidad de asimilarlas y aprender de los casos de éxito.

En palabras del filósofo de la ciencia Thomas Kuhn, "una nueva verdad científica no triunfa solamente por convencer a sus oponentes para que vean la luz sino porque, a veces, sus oponentes simplemente mueren y la nueva generación crece ya familiarizada con ella". Esperamos que este libro, redactado de manera amena y fluida por el doctor Víctor del Río, permita acelerar este proceso, y que sea en esta generación que nuestra sociedad desarrolle la aceptación necesaria para que iluminemos a México con luz de sincrotrón.

María Brenda Valderrama Blanco
Secretaria de Innovación, Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos
2012–2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal directivo del Sincrotrón español Alba, del Sincrotrón Brasileño LNLS y Sirius, del Sincrotrón Australiano y del Sincrotrón jordano SESAME, quienes nos otorgaron el tiempo necesario para llevar a cabo este análisis y por darnos a conocer, con gran honestidad y detalle, el camino que recorrieron para hacer del sincrotrón una realidad en cada uno de sus países y agradecemos también el habernos permitido grabar estas entrevistas. Queremos subrayar la contribución del doctor Cylon Da Silva, quien nos comentó con lujo de detalles y fascinantes anécdotas la experiencia brasileña; del doctor Keith Nugent, exdirector del Sincrotrón Australiano, y a su actual director, doctor Andrew Peele, al exgobernador del estado de Victoria, John Brumby, y al expresidente del Congreso del estado de Victoria en Australia, honorable Telmo Languiller MP, quienes abrieron sus puertas, de par en par y de manera entusiasta, a cualquier posibilidad de cooperación científica entre Australia, México y Latinoamérica en temas relacionados con el sincrotrón.

Por último, quisiera agradecer a mi familia, a mi compañera de la vida, Erina Reddan, a mis hijas Maya y Alena, a mi círculo de amigos del Sindicato en Australia y a los de la Red Global de Mexicanos en el Exterior (RGM Mx) por su continuo apoyo a través de los años para que este proyecto se convierta en una realidad. Todas las personas que han participado en este proyecto tienen la convicción total de que revolucionará la ciencia y la tecnología en México, y con ello la calidad de vida de la población.

Dr. Víctor del Río Bello

Director
CBTS Latin America
Senior Industrial Research Fellow of the RMIT University
Honorary Research Fellow at ILAS/Latrobe University
Presidente de Red Global de Mexicanos en el Exterior (capítulo Australia)

INTRODUCCIÓN

El Gobierno de Morelos, a través de un proyecto FOMIX en colaboración con el Conacyt, financió el "Estudio de la Viabilidad de la Construcción de un Sincrotrón en Morelos". Este proyecto está bajo el liderazgo del Instituto Nacional de Física (INFUNAM). El proyecto es coordinado en Morelos por la doctora Brenda Valderrama Blanco, Secretaria de Innovación, Ciencia y Tecnología, y el líder del proyecto por parte de la UNAM es el doctor Matías Moreno. La UNAM, a su vez, comisionó al doctor Víctor del Río, el desarrollo de los aspectos de negocios relacionados con este proyecto. Uno se los productos generados por el estudio son los cinco estudios de caso que se presentan en este libro.

Este proyecto ha contado con la participación entusiasta de un equipo de trabajo científico interinstitucional que incluye a los doctores José Mustre, Armando Antillón, Tomas Viveros y José Ignacio Jiménez Mier y Terán, entre otros.

La construcción de la primera fuente de luz de sincrotrón será la obra científica y tecnológica más grande en la historia de México. Su complejidad técnica, el monto de la inversión, el tiempo que se requiere para que se convierta en realidad y el número de disciplinas y áreas del conocimiento que se beneficiarían no tienen paralelo alguno. Es un proyecto de Estado que demanda una férrea voluntad política de todos los líderes en el país, un consenso partidario, el compromiso y la determinación total de las personas con más talento científico, tecnológico y administrativo en el país. El éxito o el fracaso de este proyecto será determinante para el futuro de México en cuanto a su participación en otros grandes proyectos científicos. La apuesta es alta y tenemos que minimizar los riesgos y aprender de las experiencias de otros países en la construcción de sus propios sincrotrones. Tenemos que aprender de sus aciertos y evitar, en la medida de lo posible, cometer los mismos errores.

Este libro tiene como objetivo aprender de esas experiencias, y es por ello que analizamos cinco sincrotrones (dos en Brasil) en vías de construcción o que ya están operando en el mundo, con el propósito de revisar y comparar las estrategias seguidas por sus respectivos líderes políticos, científicos y administrativos involucrados en esta empresa.

Al final de cada capítulo se presenta un sumario de las lecciones aprendidas que incluye sus estrategias de éxito, los desafíos enfrentados y un análisis basado en la técnica de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, conocido con las siglas FODA. Entre las fuentes de información para este estudio se consideraron:

a) Entrevistas con los directores generales de cada sincrotrón analizado, su equipo científico, técnico y administrativo.
b) Información contenida en las páginas de internet de los sincrotrones seleccionados, así como la página de internet perteneciente a la de la comunidad de sincrotrones (https://lightsources.org/).
c) Análisis de los estudios realizados por los equipos científicos y administrativos para determinar la viabilidad de sus respectivos proyectos.
d) Entrevistas con científicos que han trabajado en una variedad de sincrotrones y que tienen una visión más amplia de los desafíos que implica la fase de aprobación, diseño, construcción y operación de un sincrotrón.
e) Políticos involucrados en la aprobación de los sincrotrones.

Cada uno de los cinco sincrotrones seleccionados representa un modelo diferente de concebir estrategias y procesos para la aprobación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de un Sincrotrón. Cada uno de ellos tuvo una génesis diferente y su aprobación fue el producto de contextos políticos, económicos y científicos únicos:

• Sincrotrón Alba[1]: entró en operación en 1990, liderado por el profesor Ramón Pascual, científico de gran renombre en España y con sólidas y extensas relaciones en el círculo político del país y en la administración de Cataluña.

• Sincrotrón LNLS[2] y Sirius[3]: inició en 1983 por científicos en la región de Sao Paolo, liderado por el profesor Cylon Da Silva, este investigador también contaba con un gran perfil científico y con fuertes relaciones en el mundo político de Brasil. En 2011 Brasil inició la construcción de su segundo sincrotrón, Sirius, que será construido contiguamente al LNLS (se estima que entre en operación a finales del 2018).

• Sincrotrón Australiano:[4] Iniciado en 1989, este proyecto fue apoyado por una variedad de organizaciones científicas de Australia (Australian Academy of Science, Australian Science and Technology Council, etc.). Esta iniciativa científica fue aprobada oficialmente en 2001; el exgobernador del Estado de Victoria, Steve Bracks, fue el líder de este proyecto, y John Brumby, ex tesorero y sucesor político de Bracks, dio continuidad al proyecto. Es importante mencionar que este proyecto fue impulsado por una figura política, en contraste con lo observado en otros sincrotrones, los cuales fueron promovidos principalmente por miembros de la comunidad científica.

• Sincrotrón SESAME[5], es un proyecto concebido desde la década de los años ochenta y que inició en 2004, fue impulsado por científicos del medio oriente de gran renombre, como el Premio Nobel Pakistaní, Abdus Salam, y apoyado por la CERN (Organización Europea para la Investigación) y el MESC, Cooperación Científica en el Medio Oriente, encabezada por Sergio Fubini. Este ambicioso y complejo proyecto está siendo desarrollado en un contexto político y geográfico complejo; en él participan científicos de Israel, Egipto, Pakistán e Irán, entre otros.

1 http://www.cells.es/en
2 http://lnls.cnpem.br
3 http://lnls.cnpem.br/sirius-new-brazilian-synchrotron-light-source/
4 http://www.synchrotron.org.au
5 http://www.sesame.org.jo/sesame/):

SINCROTRÓN ALBA

ANTECEDENTES

GÉNESIS DEL ALBA

En 1990 el profesor Ramón Pascual inició, junto con otros científicos, la tarea de conseguir los fondos necesarios para la construcción del primer sincrotrón en tierras españolas. No fue una tarea fácil, les tomó 13 años para que la administración española y la de la región de Cataluña decidieran finalmente financiar este proyecto por partes iguales. Uno de los principales desafíos que encararon los promotores de esta iniciativa fue convencer a la comunidad científica nacional, que no creía en la viabilidad de este proyecto, mientras se subsanaba la falta de conocimiento y más experiencia en España para construir, mantener y operar un sincrotrón.

El proceso inicio oficialmente en noviembre de 1992, cuando se publicó un estudio de viabilidad denominado "El Laboratorio de Sincrotrón de Cataluña", elaborado por Joan Bordas y otros científicos renombrados, entre ellos Jordi Pascual y el profesor Ramón Pascual. Este estudio avalaba la construcción de un laboratorio de sincrotrón con un costo aproximado de 66 millones de euros (11 000 millones de pesetas) en un periodo de 10 años.

En 1993, el profesor Ramón Pascual y otros convocaron a la comunidad científica española para discutir con más detalle el proyecto. La respuesta no fue muy positiva. De acuerdo con el profesor Pascual, la comunidad se opuso con fuerza a esta idea. Uno de los científicos de más renombre que se opuso a este proyecto comentó: "estas son tonterías, si tienen mucho dinero lo mejor fuese que se los diesen, ya que no se tiene la capacidad (en España) para hacer un sincrotrón". Muchos científicos españoles reconocidos en el medio científico compartían esta opinión.

Ramón Pascual.

Agencia Iberoamericana para la difusion de la ciencia y la tecnología

Gastón García, el Subdirector del Alba, explicó que esta reacción negativa fue muy natural, dado que la cantidad que el Gobierno invertía en investigación científica era muy pequeña y esto generaba una gran competencia por recursos económicos en el medio científico. El profesor Pascual indicó que Suiza, en 1992, pasó por el mismo dilema cuando dos Premios Nobel apoyaban la construcción de un sincrotrón y otros dos se oponían. Para ilustrar la oposición al proyecto, el profesor Pascual relató la historia de un científico catalán, amigo suyo, quien escribió un artículo donde decía que "si la luz del sincrotrón va a iluminar la ciencia española bienvenido sea, pero que no vaya a fundir los fusibles". El profesor Pascual le contestó que la idea era "no quitarle el dinero a nadie" sino incrementar la cantidad de recursos científicos disponibles en el sector. En aquel entonces, la comunidad científica española que llevaba a cabo estudios en sincrotrones era pequeña (25–30 personas) y resolvía sus problemas científicos viajando al extranjero. Algunos de ellos temían que podrían perder esta flexibilidad para viajar al exterior.

Palex Medical

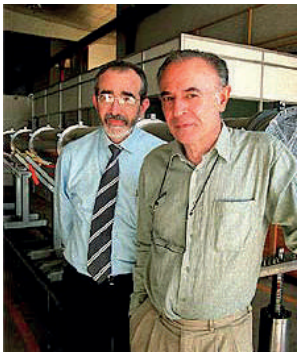
Como estrategia para persuadir a la comunidad científica de apoyar esta iniciativa, Ramón Pascual y otros organizaron reuniones con personas clave, así como un sinnúmero de eventos y reuniones de difusión científica. Esta etapa, de acuerdo con el profesor Pascual, fue muy dura, ya que había científicos españoles de gran renombre que se oponían de manera activa al proyecto, y algunos llegaron incluso a atacar la reputación de los líderes de esta iniciativa científica. Por ejemplo, uno de los opositores le comentó al Director del CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), que Ramón Pascual (haciendo alusión a la actitud y la presión que ejercía) "había matado el Sincrotrón español", y otras personas de la administración de Cataluña también boicotearon el proyecto. Esta situación de antagonismo duró casi 10 años. El profesor Pascual comentó que en ningún momento dejó de ejercer presión a ministros, a otras personas de la administración española ni de Cataluña para avanzar en el proyecto, y que su acceso personal a estas figuras políticas le facilitó esta tarea.

En el año 2000 los vientos cambiaron de dirección y el Gobierno español comisionó un informe sobre "la evaluación de las necesidades, de las oportunidades científicas y del impacto socioeconómico de una fuente de luz de sincrotrón en España". Este reporte se conoció como Informe Abela, por el nombre del científico que lideró este proyecto. El reporte fue entregado el 26 de febrero del año 2001 a las autoridades españolas. El reporte apoyaba, sin reservas, la construcción de un sincrotrón en España. La Fundación de la Ciencia en Europa, en el reporte de 1998, también endosó la idea de construir un sincrotrón en España.

El segundo desafío lo representó la falta de experiencia específica y local en el área de sincrotrones. El Comité Asesor Científico en España que evaluaba la viabilidad de este proyecto, le sugirió a los líderes científicos que la procedencia del mismo estaba sujeta al nombramiento de un Director del Sincrotrón que tuviese un conocimiento profundo de cómo diseñar y operar un artefacto de estas dimensiones. En respuesta, en 1995 se contrató a Joan Bordas como Director del proyecto, quien hasta ese momento era el Director de un Sincrotrón británico en Daresbury.

Ramón Pascual explicó que Joan Bordas asumió un gran riesgo profesional al integrarse a este proyecto, ya que no había garantías de que se pudiese conseguir el financiamiento para construir un sincrotrón. Joan Bordas fue contratado por tiempo

Palex Medical



2002. Silvia T. Colmenero.

Ramón Pascual y Joan Bordas.

completo. Como incentivo para atraer a Bordas al proyecto, el equipo de científicos españoles le ofreció que, en caso de no ser aprobado, le facilitarían un laboratorio para continuar sus investigaciones científicas en sincrotrones extranjeros, lo cual le garantizaba a Bordas dos cosas, una seguridad laboral permanente y la posibilidad de continuar su carrera como investigador especializado en esta área. Para cumplir con esta promesa el equipo español negoció con las autoridades respectivas dos líneas experimentales en el Sincrotrón ESRF, en Grenoble, Francia. La primera línea, conocida como BM25, costó seis millones de euros, y la segunda, la BM16, tuvo un costo mucho menor (aproximadamente 2.8 millones de euros). Pero estas líneas también iban a cumplir otros objetivos, entre ellos, abrir la posibilidad de ampliar la comunidad española de usuarios del sincrotrón, no solamente en el área de las ciencias puras (física, química), sino también en las ciencias aplicadas. Estas líneas generaron la posibilidad de incrementar la demanda científica y de capacitar a un sinnúmero de científicos que no tenían el conocimiento ni la experiencia necesaria para explotar un sincrotrón en aquel entonces. Gastón García explicó que el esfuerzo para pasar de 300 a 600 usuarios fue enorme, lo cual no hubiese sido posible sin acceso a las líneas españolas de experimentación en Grenoble, Francia. Gastón la describió como una tarea cuesta arriba, y más aún al compararla con el número de usuarios del sincrotrón que había en ese momento en países como Francia (5000), Inglaterra (6000) y Alemania (8000), mientras que en España sólo había 300. Pero la construcción de la línea BM25 también atrajo algunos aspectos negativos. Según Ramón Pascual, muchos científicos "se la querían pasar todo el tiempo en la línea" y había "tantas manos metidas en su administración que provocó que (se cometieran errores), por ejemplo, se compraran equipos de investigación que eran innecesarios". En el año 2004 se creó la Asociación de Usuarios del Sincrotrón AUSE (https://auseweb.wordpress.com/ause/), para el 2014 contaba ya con 800 miembros.

España, en el periodo entre 1995 y el 2000, fue muy inestable política y económicamente. Los Gobiernos estaban preocupados por la crisis económica y no querían comprometer los recursos necesarios para proyectos de esta índole. Mientras tanto, los científicos que se iban formando en el área de aceleradores de partículas deambulaban entre España y el extranjero, sin saber si su destino final sería su patria.

Por fin, a mediados de marzo de 2002, tanto la administración española como la de Cataluña aprobaron la construcción de un sincrotrón en la zona de Cerdanyola del Vallès.

MARCO JURÍDICO

El 23 de mayo de 2002, el profesor Ramón Pascual recibió el informe sobre el régimen jurídico aplicable a diversas soluciones organizativas planteadas en relación con la construcción y explotación de un laboratorio de luz de sincrotrón. La entrega de este documento legal llenó un requisito más para formalizar oficialmente este proyecto. Con base en este documento, se creó en 2003 el consorcio legal que dio origen al primer sincrotrón español.

Tanto el profesor Pascual como Gastón García enfatizaron la importancia que tenía desarrollar un modelo jurídico adecuado de explotación del sincrotrón, ya que, por ejemplo, en el marco jurídico español, esto determinaba si los servicios proporcionados estaban o no sujetos al IVA, impuesto al valor agregado (en aquel entonces en España se pagaba el 16% de IVA, actualmente es el 21%); por ello Ramón Pascual recalcó que en cualquier cálculo sobre los costos del sincrotrón se tenía que considerar el tema de los impactos presupuestarios generados por este impuesto. Además de lo anterior, Gastón añadió que el modelo jurídico era muy importante porque en este se definiría la relación que tendrían con la administración pública del país.

Gastón García comentó que "parte de la idea era alejarse de las limitaciones impuestas por la estructura típica de la administración pública… crear algo que no fuese una empresa privada ya que, por un lado había académicos e investigadores involucrados y, por el otro, el Sincrotrón no buscaba (como objetivo principal) beneficios económicos, "… lejos del modelo de administración pública con sus respectivos funcionarios (y limitaciones), en donde los contratos de (trabajo) pueden ser de por vida".

Foto: María Maralva.

El personal del Alba tiene su propia escala de salarios, en la que al final de cada año se paga un complemento salarial del 4% con base en rendimientos, lo cual es único en la administración pública y académica en España.

Después de aprobado el proyecto, en 2003, se comisionó otro estudio de impacto económico dirigido por José García Montalvo, de la Universitat Pompeu Fabra, con el objetivo de medir la derrama económica que se generaría en la zona que hospedaría el sincrotrón. El estudio se titula "Análisis Coste Beneficio y Estudio de Impacto Económico de una Fuente de Luz de Sincrotrón en el Vallés Occidental". Los principales resultados económicos arrojados por este estudio fueron muy positivos.

SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL SINCROTRÓN ALBA

La selección final del sitio para construir el Alba generó muchas controversias. La mayoría de los científicos que impulsaban el proyecto estaban localizados en Cataluña. Ramón Pascual relató que cuando se anunció en España la construcción de un sincrotrón, él recibió una llamada de las autoridades de Madrid convocándolo a una reunión para discutir el lugar donde se construiría (lo cual fue toda una sorpresa para él). En la reunión Ramón Pascual subrayó que este era un proyecto originario de Cataluña, que tenían ya a una docena de científicos capacitados en esta tecnología y que si otra provincia quería construir uno lo podrían hacer "en sus propios términos y con sus propios recursos". Este fuerte intercambio dio por terminada la discusión sobre la ubicación del Sincrotrón Alba.

La ubicación geográfica no fue el resultado de un análisis cuidadoso de geología y de mecánica de suelos, sino fue determinada con base en los terrenos disponibles que había en ese momento y que cumplían ciertas características mínimas, como el acceso a vías de comunicación importantes. Ramón explicó que una de las ventajas de ubicar el Alba en Cerdanyola del Vallès eran las excelentes vías de acceso y de comunicación con varios centros urbanos de importancia. El sincrotrón se localiza a menos de 25 km de distancia del aeropuerto internacional de Barcelona.

ALIANZAS CON OTROS SINCROTRONES

En el transcurso del proyecto, el equipo del Alba estableció fuertes ligas con otros sincrotrones en Europa. Entre los principales se encuentran:

Soleil. Inicialmente Soleil quiso participar en el proyecto Alba contribuyendo con el 5% de los fondos. Ramón Pascual se opuso a esta idea ya que hubiese roto el equilibrio de inversión entre el 50% de la administración española y el 50% de la administración de Cataluña, y la segunda objeción fue que había el riesgo de que el sincrotrón lo hubiesen construido principalmente empresas francesas. La Fundación Europea de la Ciencia quiso también influir, sin éxito, para crear una instancia supranacional que propusiera construirlo en otra zona.

Budker Institute of Nuclear Physics. Este Instituto apoyó decididamente al equipo del Alba en el proceso de instalación de los aceleradores. El equipo de voluntarios rusos estaba formado por científicos con gran experiencia, a los cuales sólo se les pagó viáticos, pasajes y gastos de estancia (entre 20 y 30 personas).

ESRF. Alba construyó y operó dos líneas experimentales en el Sincrotrón ESRF en Grenoble, Francia, la BM25 y la BM16. Estas líneas sirvieron para capacitar a la emergente comunidad de usuarios del Alba y para capacitar a los técnicos sobre cómo mantener y operar las líneas de experimentación.

ACCESO A LAS LÍNEAS EXPERIMENTALES

Las convocatorias para tener acceso a las líneas del sincrotrón se hacen cada seis meses. En la primera convocatoria para propuestas, realizada en 2011, se recibieron 203 solicitudes, entre las cuales el 18% provenía de extranjeros. El criterio principal para seleccionar las propuestas fue la calidad científica (revisión colegial); se filtró el número de solicitudes recibidas a través de una revisión por paneles agrupados por disciplina. El panel las filtró de acuerdo a un ranking científico preestablecido. El Alba tiene una demanda promedio 2.5 veces mayor que el número de experimentos que puede realizar (en la fecha de esta entrevista el Alba no había recibido ninguna solicitud de científicos mexicanos). El rechazo de solicitudes provocó inevitables tensiones a los científicos que no pudieron acceder al Alba.

EL SINCROTRÓN EN LA ACADEMIA

Gastón García indicó que en un par de ocasiones hubo intentos por parte de universidades españolas para crear una Maestría de Sincrotrón, pero esta iniciativa no tuvo la respuesta que se esperaba. Sin embargo, en 2014 se introdujo la asignatura de Sincrotrón como parte del programa de estudios de Física. Gastón indicó que para que la maestría tenga éxito se requiere habilitar más líneas experimentales en el Alba, y que la demanda científica se incremente. El Alba también organiza prácticas académicas para estudiantes de diversas disciplinas en el sincrotrón.

COMUNICACIÓN, REDES SOCIALES E INTERNET

Antes de que el sincrotrón iniciara operaciones, se organizaron campañas y visitas de difusión orientadas tanto al sector industrial como al académico. Las campañas de difusión que se han concentrado en informar sobre las virtudes de la investigación empresa por empresa han sido más efectivas que las que se han dirigido a asociaciones empresariales o a una industria en general. Alba empezó a organizar con éxito mesas de trabajo sectoriales (farmacéutico, de alimentos, etc.).

En cuanto a las redes sociales, Alba cuenta con un website, Twitter y Facebook,

Newsletter y videoclips en YouTube. Alba organiza anualmente un día de "Puertas Abiertas", donde se recibe a más de 1500 personas en un día.

En total, recibe a más de 5000 visitantes al año como resultado de sus campañas de difusión. Tiene gran visibilidad, entre otras cosas por ser la instalación científica más compleja y con la mayor inversión que se haya hecho en España. El Alba no contrató algún responsable de comunicación sino hasta principios de 2014, ya que no había tiempo ni dinero para ello.

En España se colabora con una gran variedad de instalaciones científicas, como el Centro de Laser de Salamanca, para quien se construyó una cámara de vacío, y ya se tiene firmado un convenio para la construcción de la segunda. Esta instalación es un modelo para otras instalaciones científicas que han copiado el sistema salarial, el estatuto jurídico, etc.

EL SINCROTRÓN COMO MAGNETO PARA ATRAER OTROS CENTROS DE INVESTIGACIÓN, INDUSTRIAS Y SERVICIOS DE PUNTA

El Sincrotrón ha hecho que muchas industrias evalúen ubicarse en su entorno, ya que consideran la proximidad con este centro de investigación como una ventaja competitiva. Durante la entrevista, el profesor Pascual indicó como ejemplo del interés que tenían las industrias en el sincrotrón, que SENER, una empresa de ingeniería, estaba ya lista para abrir sus puertas en las inmediaciones del Sincrotrón (http://www.sener.es/inicio/es), para lo cual contrataría a 350 ingenieros (SENER inauguró estas instalaciones el 13 de mayo del 2014). Anteriormente estaban instaladas en el entorno del Sincrotrón dos centros de procesamiento de datos y uno más en construcción.

ALBA Synchrotron

Agencia Iberoamericana para la difusion de la ciencia y la tecnologia

Salvador Ferrer

DECIDIENDO QUÉ TIPO DE SINCROTRÓN CONSTRUIR

Sobre este tema, Salvador Ferrer, Director Asociado del Alba, comentó: "... una primera decisión fue tener una máquina que produjera rayos X en el sentido de difracción... para poder hacer cristalografía de proteínas... con una energía un poco alta pero que al mismo tiempo sirviera a las comunidades de más baja energía, lo que se llama rayos X blandos porque hay muchos usuarios en España". Más adelante puntualizó las limitaciones del Alba "... para aplicaciones de alta energía 'somos un poco más débiles'. Para aplicaciones de rayos duros, como la tomografía de metales, nosotros tenemos menos flujos que las máquinas grandes, en las de energías bajas somos un poco más competitivos". Esta decisión se basó en parte en que la comunidad de usuarios españoles de baja energía era bastante activa. Sin embargo, en cuanto a números eran pocos, porque no rebasaban las 25 o 30 personas. A principios de los años 90 se hizo una reunión en Segovia en la cual se difundió ampliamente la tecnología de radiación de sincrotrón y sus usos en la ciencia. Pero el impulso para fomentar el interés en esta ciencia tuvo avances importantes cuando España se hizo miembro del Sincrotrón Europeo (ESRF). Esto generó, naturalmente, un mayor interés y la comunidad de usuarios empezó a crecer rápidamente inspirada por los resultados positivos obtenidos en el ESRF.

ALBA Synchrotron

Caterina Biscari

La actual Directora General, Caterina Biscari, subrayó que la segunda decisión importante fue determinar el tipo de emitancia de la máquina, pues acordaron diseñar el sincrotrón con una emitancia inferior a cinco nanómetros. El otro parámetro importante era el espacio en el anillo que se podría dedicar a los aparatos de inserción (estos aparatos son un tipo especial de imán que emiten la radiación de sincrotrón), por lo que se hizo un esfuerzo importante para optimizar la máquina con la finalidad de obtener el máximo espacio posible para construir posteriormente un mayor número de líneas de experimentación.

ALBA Synchrotron

FORMACIÓN DE USUARIOS

Salvador Ferrer añadió que, con base en su experiencia como miembro de un panel para la aprobación de tiempo sincrotrón en máquinas extranjeras, él había sido testigo de la rapidez con que los usuarios tienden a adoptar esta tecnología y a crecer en número. Esto principalmente era cierto con respecto a los usuarios de centros académicos y de investigación. Los usuarios de la industria tardaban, por lo general, más en incorporarse.

En septiembre de 2004 se formó la Asociación de Usuarios de Sincrotrón en España (AUSE– https://auseweb.wordpress.com/ause/). En su inicio tuvo una organización muy básica; los miembros fundadores de esta asociación empezaron solamente generando una lista de grupos para distribución de correos electrónicos.

El aquel entonces el AUSE jugó un papel importante porque empezó a agrupar a los investigadores en función de sus intereses académicos, lo cual funcionó muy bien ya que fueron ellos quienes presentaron los proyectos iniciales para identificar y construir las líneas de experimentación. Dichos proyectos fueron evaluados por un equipo que incluía expertos extranjeros, entre cuyos criterios de selección se consideraban temas como el impacto científico y el académico. Finalmente los proyectos se clasificaron en tres grupos: los que procedían inmediatamente, los que tendrían que esperar espacios disponibles y los rechazados. Esto no sólo ayudó a definir las primeras siete líneas de experimentación, sino que contribuyó a que se produjera un fuerte intercambio de ideas entre el panel de selección y los investigadores. De acuerdo con los miembros del panel, los investigadores pedían, en algunos casos, cosas muy "fantasiosas". Esta estrategia inicial contrasta con la utilizada en el proceso de decisión para definir las siguientes líneas de experimentación. En el 2014, la asociación contaba con más de 400 miembros.

En diciembre de 2013, el Sincrotrón Alba aplicó una encuesta entre los más de sus mil usuarios, denominada *Synchrotron Users' Report*. Esta encuesta fue enviada no solamente a los miembros de AUSE sino a todas las personas que habían utilizado el Alba; la encuesta tenía como objetivo identificar

y utilizar las necesidades presentes y futuras de los usuarios como referente para la construcción de futuras líneas experimentales de investigación. De acuerdo con Alejandro Sánchez, Director Asociado del Alba, en España la mayoría de los usuarios se concentran en las áreas de biología y de ciencias de materiales; el 70% de los usuarios son españoles y el resto proviene en su mayoría de la comunidad europea. Caterina Biscari explicó que el Alba tiene una demanda muy superior a la que pueden satisfacer; por ello, lo que se necesita es ampliar el número de líneas de experimentación, y se esperaba que la encuesta ayudara a identificar las características de estas nuevas líneas. Además de la encuesta, Caterina Biscari comentó que la mayoría de los sincrotrones organiza reuniones anuales con los usuarios para obtener retroalimentación directa de ellos. El Alba plantea organizar una reunión de este tipo cada dos años; la primera reunión de usuarios tuvo lugar en 2013. La tercera reunión de usuarios se realizó en Madrid del 9 al 11 de octubre del 2017.

Las convocatorias para proyectos de investigación se realizaron anualmente en 2011 y 2012. A partir del 2013 la convocatoria se abre cada seis meses. Por ejemplo, para los proyectos que se llevaran a cabo de julio a diciembre de 2018, la convocatoria se cerró el 26 de febrero de 2018. Caterina Biscari enfatizó la importancia de difundir entre los usuarios las virtudes del sincrotrón en áreas de investigación como la biología y el patrimonio cultural, ya que especialmente estas últimas dan mucha visibilidad pública por su transversalidad. Otras áreas de investigación, como las farmacológicas, están atrayendo inversión externa. Los investigadores que ya tienen experiencia en estas áreas de investigación se pueden convertir en embajadores del sincrotrón con el objetivo de expandir la base de usuarios.

Asociacion usuarios sincrotron Espana

LIGAS SINCROTRÓN–INDUSTRIA

La manera típica que usan los sincrotrones para acercarse a la industria es una vez que los experimentos han arrojado resultados. Los investigadores visitan la industria respectiva para difundir estos resultados para encontrar un comprador y/o un posible financiamiento. Salvador Ferrer propuso hacerlo a la inversa; es decir, considerar la idea de visitar la industria antes de construir la línea de experimentación o, aún mejor, diseñarlas de acuerdo con las necesidades específicas de la industria en cuestión, lo cual traería como consecuencia dedicar líneas futuras de experimentación a industrias específicas, con un impacto económico mayor.

Por ejemplo, en abril de 2014 se llevó a cabo una mesa específica para la industria química, en la cual Caterina enfatizó la importancia de enseñarle a las industrias lo que podrían hacer con las líneas actuales de experimentación; Alejandro Sánchez, por su parte, recalcó la importancia de las visitas para las universidades y los estudiantes. También comentó que mantienen importantes relaciones con ferias empresariales, como la de Barcelona, así como con las cámaras de comercio nacionales y regionales, añadiendo "... es un proceso lento antes de que todos los sectores industriales y académicos lleguen a conocer las posibilidades del sincrotrón, hay que ser paciente... es una propaganda continua que no hay que parar".

Caterina mencionó que la UNESCO al nominar el año 2015 como el año internacional de la Luz, creo una gran oportunidad para generar el interés del público. Comentó que todos los sincrotrones trabajaron en la organización de actos de conmemoración y de difusión para el público en general, y que curiosamente una profesora mexicana de la UNAM, la profesora Ana María Cetto, estuvo involucrada en la organización internacional de esta conmemoración.

Academia Mexicana de Ciencias

Ana María Cetto

Palex Medical

ESTRUCTURA DEL PERSONAL

Es muy positivo que el personal de un Sincrotrón adquiera una vasta experiencia internacional. En este sentido Salvador comenta que cuando trabajó por casi 15 años en el ESRF (Laboratorio Europeo de Radiación Sincrotrón) se dio cuenta de la gran ventaja que ofrece el internacionalismo. La experiencia ganada al trabajar con equipos de trabajo internacionales en el Alba representa una gran ventaja, porque los aspectos culturales (negativos) de un país, en alguna medida, se disuelven en un contexto internacional. Es un entorno en donde se generan nuevas ideas, nuevas maneras de hacer las cosas y esto crea un ambiente muy fértil en donde las personas empiezan a pensar de manera diferente. Comparado con ciertas universidades, a las cuales Salvador califica de muy anquilosadas, en el Alba se ha conseguido ese encanto que da la experiencia internacional. En el campo de los aceleradores es importante contar con una persona que tenga una amplia experiencia en el área y que sea capaz de formar equipos de trabajo calificados en el tema.

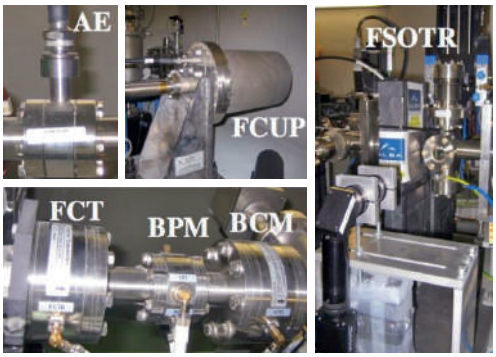
En 1994 se seleccionó a un grupo de diez investigadores españoles que viajaron al extranjero para llevar a cabo un postdoctorado en aceleradores. Siete de ellos regresaron siete años más tarde y tres se fueron a trabajar en el extranjero. En 2003, cuando se aprobó el proyecto, los tres que estaban en el extranjero se integraron a la empresa, pero tres de quienes estaban en España abandonaron el proyecto. Después de tantos años de espera, la pérdida de estos tres investigadores no fue considerado como un fracaso. Parte de la experiencia adquirida por estos investigadores postdoctorales fue fundamental para la construcción y preparación de las especificaciones técnicas, así como para la definición del proceso de concurso de las licitaciones para la compra de equipo. En el Alba se generaron más de 200 licitaciones y el conocimiento adquirido permitió el éxito en esta empresa. Catarina comentó que el Alba ha compartido las especificaciones técnicas de varios equipos importantes a otros sincrotrones. En este sentido, el personal del sincrotrón estaba dispuesta a proporcionar esta información al grupo de científicos mexicanos que se encargará de este tema. El sincrotrón siguió la legislación europea para la definición del proceso de licitación técnica, lo cual implica incluir las certificaciones técnicas y administrativas que sean apropiadas de acuerdo a los lineamientos aprobados.

CONSTRUCCIÓN

PROGRAMA DE ACTIVIDADES

En esta sección se presenta la narrativa de Gastón y Alejandro sobre las estrategias consideradas para diseñar y construir el Alba.

El proyecto se dividió inicialmente en dos bloques. El primero se encargó de la construcción del edificio y el segundo del equipo. Inicialmente se contrató a una empresa que coordinaba las actividades y que dependía del director. En la parte científica se creó una oficina de apoyo formada por Gastón y Alejandro. Por varias razones el proyecto tuvo dos años de retraso con respecto a lo planeado; el año de transición se retrasó del 2010 al 2012.

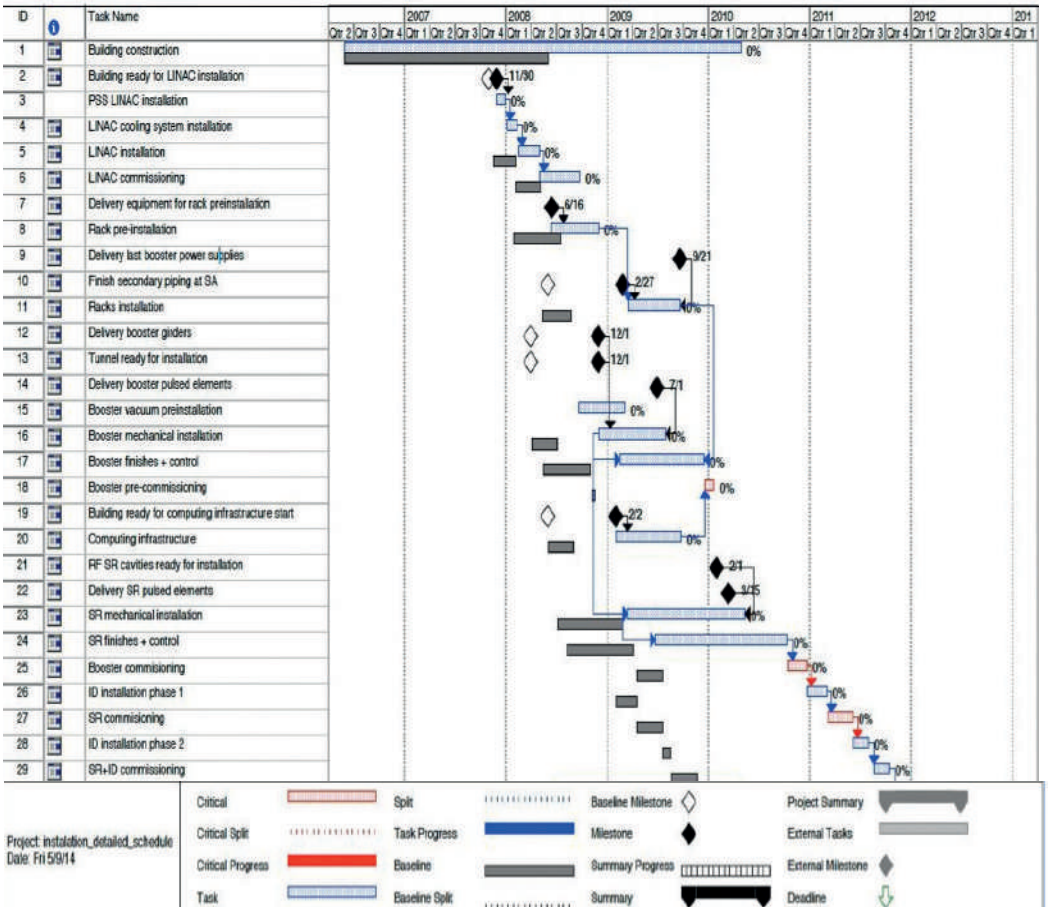


Alejandro indicó que la construcción del acelerador lineal (LINAC) fue mucho más rápida de lo previsto, tuvo lugar en 2008, mucho antes de terminar el edificio, este retraso de la construcción tuvo resultados positivos, porque el LINAC es un equipo que se prueba regularmente en espacios muy confinados, y el haber terminado su construcción antes que la del edificio permitió llevar a cabo las evaluaciones técnicas en otro lugar y estudiar este sistema detalladamente, superando con ello las limitaciones de espacio. Estas tareas de prueba aseguraron que estuviera listo a tiempo y con las metas propuestas. Otra decisión acertada fue la preinstalación de todos los racks de

ALBA Synchrotron

electrónica (casi 250) de aceleradores, lo cual permitió que se llevara a cabo en un espacio separado. Esto permitió dos cosas: una, avanzar en tener todos los racks completos y listos para entrar en operación, y la otra es que permitió que esto se desarrollara en una zona de preinstalación de racks mucho más cómoda, ya que en algunos casos había que instalar racks en áreas elevadas o espacios muy confinados, lo que significaba el uso de escaleras y de equipo más sofisticado, etc. Esta estrategia permitió que se adelantaran en el calendario de actividades.

Gastón y Alejandro comentaron que en el área destinada a las instalaciones del sincrotrón faltaba espacio de almacenamiento y ante esta situación consideraron, en algún momento, almacenar equipos en áreas fuera de estas instalaciones. Procedieron a elaborar un estudio de costo beneficio con base al cual concluyeron, de manera aplastante, que era más viable construir un área de almacenamiento que alquilar espacios externos. El amplificador se retrasó unos meses por dos razones, hubo un retraso de meses en la entrega del edificio, a lo cual se sumó un retraso en la entrega del equipo asociado al amplificador. De manera positiva una cosa canceló a la otra y se pudo terminar esta tarea de acuerdo con lo programado. Otra decisión estratégica que ayudó mucho fue la de preinstalar el equipo asociado con el amplificador, las cámaras de vacío, pruebas de funcionamiento, etc., con lo cual quedó todo listo para llevarlo al túnel; esto fue lo que



permitió ahorrar mucho tiempo. Sugirieron que era muy importante identificar las actividades que permitan preinstalar y probar el equipo con anterioridad ya que esto facilita mucho más cosas.

Llevaron a cabo una serie de actividades más convencionales que no estaban identificadas con detalle en el Calendario de actividades y estas fueron las que ocasionaron más problemas, como el cableado, los tubos de presión, etc. Otras fueron actividades muy laboriosas; por ejemplo, conectar los imanes eléctricamente con el aire a presión. Otra decisión estratégica fue el decidir en construirlo completamente y luego probarlo todo junto. Se intentó insertar un programa de pruebas por secciones que a veces interrumpía completamente el proyecto pero eso permitió hacer una detección temprana de problemas. Para ilustrar este punto, a fines de 2009 se definió un periodo de dos semanas para llevar a cabo estas pruebas; había dos equipos trabajando en paralelo, uno con el amplificador (booster) y otro con los almacenamientos. Ambos trabajaron muy bien y de manera coordinada.

A pesar de lo anterior se optó por interrumpir la instalación de los anillos de almacenamiento una vez que todos los componentes del amplificador estuvieron ensamblados, para asegurar que todo trabajara de acuerdo con las especificaciones técnicas. De esta manera, si se detectaba algún problema mayor éste podría ser resuelto de inmediato. Afortunadamente esta situación no se presentó.

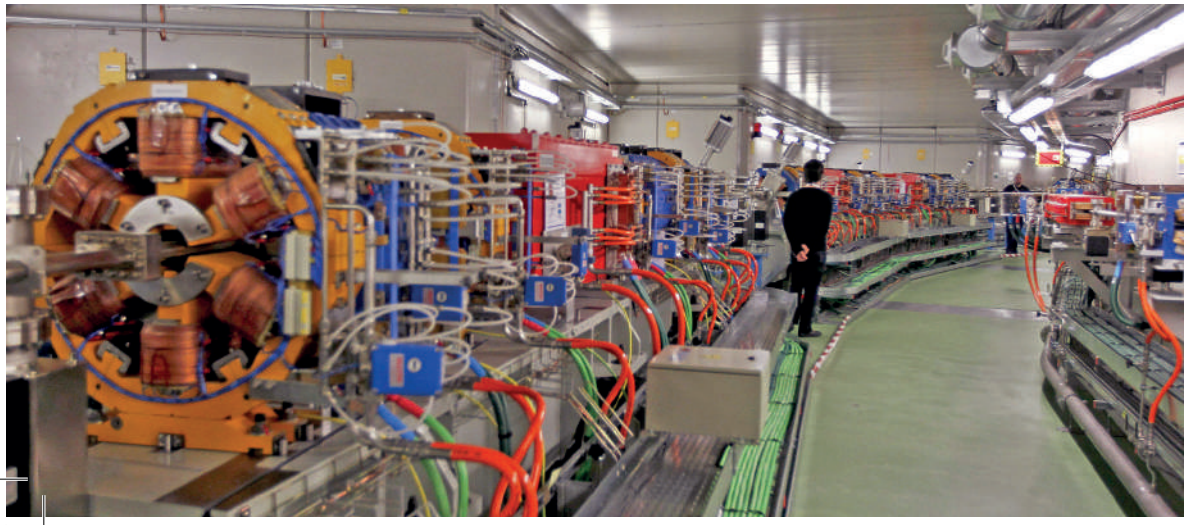
LICITACIONES

En el edificio se hicieron 17 paquetes de licitaciones para la construcción, y se contrató a una empresa para que coordinara todo el proceso. Se presentaron muchos problemas en el camino. Había dos paquetes exclusivos para medir y evaluar la calidad de la construcción; uno estaba orientado al edificio y el otro a las instalaciones. Por ejemplo, la empresa que monitoreaba las soldaduras en el proceso de verificación encontró que éstas no cumplían con las especificaciones solicitadas; la empresa de control de calidad negociaba entonces con los contratistas para resolver los problemas que se iban presentando. Esta es una de las razones por las cuales el proyecto se retrasó unos meses.

La parte no convencional, en todos los contratos de instrumentación científica que se solicitaron, contenía especificaciones muy claras y detalladas. Las cláusulas técnicas fueron revisadas por todo el equipo científico, revisión que en algunos casos fue muy exhaustiva, a veces evaluando especificaciones más allá de lo establecido en los contratos. Cuando hubo que decidir entre la calidad del equipo o rapidez de entrega, siempre se optó por la primera opción, asumiendo el retraso como consecuencia lógica que no había más remedio que aceptar. En varias oportunidades hubo que regresar partes del equipo a los contratistas para que fueran rectificados conforme a las especificaciones técnicas (como sucedió en el caso de los espejos). Afortunadamente nunca se requirió de la intervención de abogados, de haber sido así probablemente el proyecto no se hubiera terminado. En la negociación de los contratos siempre se buscaron cierres amistosos con los proveedores. Todas las partes estaban interesadas en que el proyecto terminara con éxito; si bien es cierto que había mucha buena voluntad de las partes, había también muchos contratos en los que había riesgos inherentes tanto para el contratista como para el equipo del sincrotrón.

El equipo científico cumplió con el presupuesto asignado (en algunos casos hubo pequeños ahorros en el área de aceleradores). En la construcción de las líneas de luz los costes rebasaron lo presupuestado, en la construcción civil ocurrió lo contrario, hubo una solicitud constante de recursos adicionales y extensiones de plazos de entrega, la instalación de la red de datos fue un proyecto que concluyó exitosamente, pasó desapercibido porque no generó ningún problema mayor.

La instalación mecánica tuvo una planeación muy detallada, cada semana se instalaba un sector, que en algunos casos era preinstalado, y probado técnicamente en otras áreas del sincrotrón. Se hizo un análisis exitoso y detallado de los elementos que se podrían preinstalar en un espacio más amplio, y se preinstaló el máximo posible; después, usando la grúa, se ubicaban en el lugar final asignado en el edificio. Se presentaron limitaciones en la preinstalación



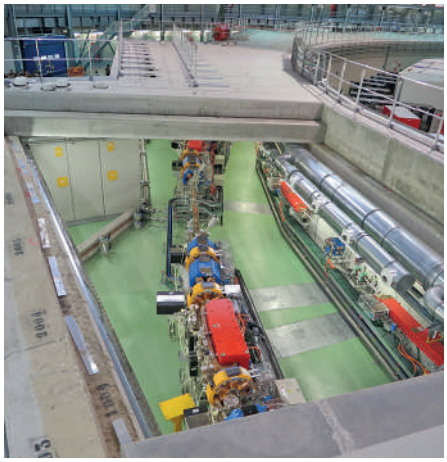
EFE

ALBA Synchrotron

porque el conjunto total pesaba más que la grúa (se disponía de dos grúas con capacidad de levantamiento de 12 toneladas cada una). Aunque se tenía la posibilidad de usar las dos grúas disponibles en tándem, esto era una opción muy riesgosa y difícil; en ese caso se decidió quitar un solo elemento, el imán bipolar, para reducir el peso del equipo preinstalado y la instalación se hacía en dos pasos. Las grúas fueron el cuello de botella de la instalación, y los elementos más usados.

Se discutió la posibilidad de incluir otra grúa, idea que fue rechazada porque hubiese incrementado los costos y una tercera grúa no tenía utilidad después de la etapa de instalación. Las dos grúas permitieron un buen nivel de redundancia.

Pese a los retrasos experimentados nunca hubo presión política para que se acabara el sincrotrón. Sin embargo, como parte de los compromisos contraídos políticamente, se inauguró el edificio en el año 2010. La presión externa para terminar el sincrotrón provino fundamentalmente de la comunidad de usuarios y la presión interna provino del calendario de entrega acordado. El calendario de entrega no se dio a conocer públicamente, fue un instrumento de planeación interno. En la primera oportunidad que se dispuso de un mes se probó el amplificador con todo el equipo integrado, para verificar que todo estuviese funcionando correctamente. Esto fue muy rentable del punto de vista técnico, a finales de 2010 el anillo de almacenamiento estaba listo para hacer pruebas, pero no se tenían las licencias radiológicas (Consejo de Seguridad Nuclear) para operar. Para aprovechar ese tiempo se decidió activar el plan B, que incluía probar el anillo de almacenamiento sólo con las cámaras de vacío, sin los elementos de inserción. Esta era una configuración más sencilla que permitió avanzar en el proyecto. Una vez que esto se probó exitosamente se quitó la cámara de vacío de la sección recta y se instalaron algunos de los tres elementos de inserción (los que estaban listos en ese momento), y se repitió la prueba con la complejidad adicional del sistema de inserción. Esto redujo el riesgo por segmento, lo que retrasó un poco más el proyecto. Cuando se hizo la entrada en operaciones del anillo de almacenamiento éste ya tenía tres elementos de inserción y funcionó muy bien.



María Maralva.

CSIC / Sincrotron Alba

Cuando se recibió el permiso y se hizo la prueba con los tres elementos de inserción completos, se dio por concluido técnicamente el proyecto. Los otros elementos de inserción no fueron instalados sino hasta 12 meses después, porque hubo problemas con un elemento de inserción que llegó destrozado. Aunque cabía la posibilidad de penalizar al contratista por los retrasos, se prefirió pedirle que solucionara el problema técnico adecuadamente, aunque esto retrasara la entrega del equipo correspondiente. En algunos casos esto fue positivo para el proyecto porque en ciertos casos no estaban las condiciones técnicas para recibir estos equipos. El siguiente paso fue instalar las líneas de experimentación y probarlas técnicamente; la prioridad cambió del acelerador a las líneas de experimentación.

El programa de construcción de la infraestructura de las líneas de experimentación operó eficientemente, aunque la instalación, ensamblaje y pruebas de las líneas y su equipo asociado (instrumentos de medición ópticos y científicos) presentaron una serie de problemas, retrasos y disparidades. Las líneas fueron avanzando en paralelo con los aceleradores. En otoño de 2011 los aceleradores empezaron a producir los fotones necesarios para permitir que se probaran varias líneas de experimentación a través de "usuarios amistosos", que podrían usar la línea para su beneficio, y les permitió al mismo tiempo evaluar y calibrar técnicamente las líneas en operación. En noviembre de 2011 salió la primera convocatoria para usuarios, aunque las líneas no estaban funcionando todavía plenamente.

Como medida de protección se anunció que las líneas entrarían en operación gradualmente ya que se consideraba el 2012 como un año de transición. La retroalimentación de los primeros usuarios fue excelente. Inicialmente las líneas empezaron a operar

ALBA Synchrotron

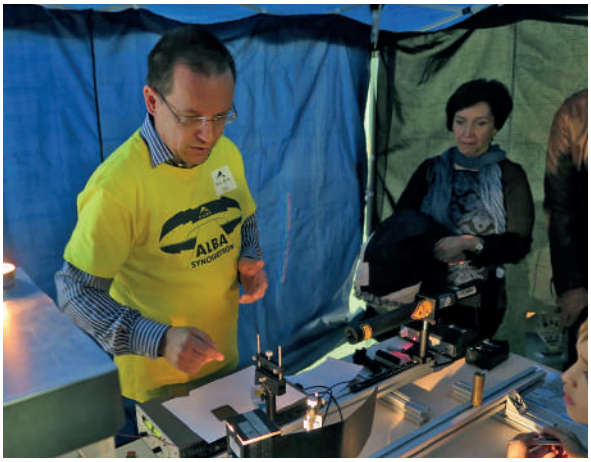
con dos turnos y actualmente operan con tres (24 horas al día). En virtud del resultado obtenido se recomendó iniciar la operación con tres turnos, ya que la maquinaria debía mantenerse encendida permanentemente (costaba tiempo y dinero encender diariamente la máquina e iniciar nuevamente el proceso). Cada usuario recibió información sobre cómo operar los instrumentos en la línea y sobre aspectos de seguridad laboral, así como apoyo permanente de un científico, el cual se podía contactar en cualquier momento. Los usuarios tenían que declarar en caso de hacer uso de muestras que pusieran en riesgo la salud o la vida de las personas en el sincrotrón. El único momento de tensión que surgió con los usuarios se produjo en relación con la documentación que tenían que presentar antes de realizar un experimento (seguros, carta de aprobación de la institución donde estaban adscritos, aprobación del comité de ética respectivo, etc.).

TRANSICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PERSONAL DE CONSTRUCCIÓN A OPERACIONES

Salvador Ferrer y Alejandro Sánchez puntualizaron la importancia de concebir los cambios en la estructura y en los perfiles del personal que construía el sincrotrón, así como de aquellos que lo iban a operar. Era un proceso de transición no exento de tensiones, porque las personas cambiaban de responsabilidades (por ejemplo, de diseño y construcción a operaciones), cambiaban de turnos de trabajo, de área de trabajo (por ejemplo, de construcción a realización de experimentos), unas personas salían mientras otras entraban, lo cual generó grandes cambios en las relaciones humanas. La estructura de personal, que en la etapa de diseño y construcción contaba con 150 personas, tendría necesariamente que cambiar para la etapa de operación. Desde el comienzo se definieron los roles para la fase de construcción, los cuales iban cambiando para la fase de operación. Había, por una parte, personal estructural que pasaría a la fase de operación; y por otra, un grupo de personal temporal que satisfacía necesidades específicas y en áreas confinadas de trabajo. Más del 90% del personal estructural, a través de una equivalencia, se asignó a funciones de operación. En general las equivalencias fueron muy forzadas, lo cual en algunos casos resultó en detrimento de los resultados esperados, dejando una

estructura que no era la ideal para operar. Por otro lado, muchas personas clave dejaron la organización porque sintieron que una vez terminado el sincrotrón su participación ya no era necesaria. Así, algunos de los perfiles del grupo estructural fueron reevaluados para ajustarlos más fielmente a las necesidades de la organización para el desempeño del puesto vacante.

El 50% del personal que trabajaba en 2011 cambió; la nueva estructura incluía cinco divisiones: una administrativa, una de aceleradores, una de operaciones y dos divisiones técnicas (ingeniería, y computación y control). En algunas instalaciones del sincrotrón sólo hay una división técnica y en otras la división técnica también tiene incorporada el área de aceleradores. Salvador Ferrer indicó que hubiese sido interesante explorar la posibilidad de haber creado, desde el comienzo, dos estructuras independientes en el sincrotrón, una para la fase de construcción y otra para la de operación, incluyendo las posibles equivalencias o transiciones necesarias entre una y la otra; de esta manera, cada persona hubiera conocido de antemano su lugar en cada una de las estructuras. La decisión que se tomó, en el sentido de mantener la misma estructura y adaptarla gradualmente, ocasionó algunas fricciones e incertidumbre en el personal (política suave). La otra decisión que se pudo haber tomado implicaba establecer una estructura óptima, lo cual hubiera requerido de perfiles diferentes (política dura).



María Maralva.

LECCIONES APRENDIDAS

En el proceso de construcción del Alba, como en cualquier gran empresa humana, hubo grandes aciertos y algunos errores:

• *Importancia de la infraestructura básica*: Salvador Ferrer indicó que una de las fallas fue minimizar la complejidad detrás de la infraestructura básica que rodeaba las líneas de experimentación (i.e. cableados y tubería). Añadió que "a las cosas con tecnología básica se tiende a darles poca importancia pero su retraso afecta el progreso de todo el proyecto. Es fácil tratar de concentrarse en los aspectos de alta tecnología y se deja un poco de lado (por falta de experiencia) las cosas sencillas (i.e sistemas de seguridad)". Esto generó problemas que permanecieron por lo menos durante dos años. Salvador comentó: "es un problema entre los científicos que están altamente calificados. Estos aspectos se dejan de lado y después resulta que estos puntos son los que determinan el ritmo de avance del proyecto". Resolver esta falla de previsión costó dos millones de euros, y alguien tuvo que hacerse cargo de esto en el último minuto. Con la experiencia adquirida, si hubiera que volver a empezar, se buscaría a expertos que se dedicaran a resolver los aspectos de cableado y seguridad. En el diseño arquitectónico no se consideró el cableado del acelerador, ni de los equipos, ni el de las líneas, y tampoco los aspectos de seguridad, en particular, cableados que van desde el edificio hasta el lugar de ubicación del equipo (por ejemplo el acelerador). Esto resulta así porque normalmente estos aspectos no forman parte de la planificación convencional de un edificio.

• *Falta de un almacén*: el segundo problema que los tomó por sorpresa, fue la falta de un almacén. Los científicos estaban esperando el equipo, pero no había un lugar donde almacenarlo, y entonces se dieron cuenta de que se tendría que construir rápidamente un área de almacenamiento.

• *Protección y resguardo de equipos sofisticados*: otros aspectos que no se tuvo en cuenta fueron la necesidad de protección para los equipos sofisticados, altamente afinados, ni para los sistemas de seguridad.

• *Espacios físicos redundantes*: Caterina añadió que otro tema importante es el de planear espacios físicos redundantes que no sólo satisfagan las necesidades presentes de expansión, sino también las futuras. Catarina añadió "Siempre se quiere crecer" (construir más instalaciones, no limitarse por espacio).

• *Obtención de permisos y licencias para operar*: otro desafío importante fue la obtención de permisos para operar el sincrotrón. El Consejo de Seguridad Nuclear español (http://www.csn.es) les pidió un permiso de operación porque clasificó al sincrotrón como una instalación radiactiva. Conseguir este permiso costó años de esfuerzo y más de un millón de euros. Esto fue toda una sorpresa, ya que en otros proyectos internacionales no hubo requisitos similares para la construcción de un sincrotrón. La obtención del permiso fue un cuello de botella que requirió visitas frecuentes de altos funcionarios a Madrid, y finalmente se obtuvo un permiso provisional. El Consejo de Seguridad Nacional no tenía una categoría específica para instalaciones como el sincrotrón, sólo tenía dos categorías, una para las plantas nucleares y otra para empresas radiológicas, como los hospitales. El sincrotrón se ubicaba en medio de estas dos categorías, y por tanto quedó a merced de las políticas públicas.

RECOMENDACIONES

En esta sección se incluye una serie de recomendaciones específicas, elaboradas por los ejecutivos del Alba en relación con el proyecto del Sincrotrón Mexicano:

• *Identificar un líder científico con fuertes conexiones políticas*: Caterina recalcó que el científico/político tendría que ser local. El Profesor Ramón Pascual reunía todos estos requisitos, por ser el que inició el proyecto para la construcción del primer Sincrotrón en España.

• *Identificar un líder científico con sólido conocimiento y experiencia en sincrotrones*: en México hay aceleradores pequeños en hospitales, pero no hay otros centros similares que cuenten con la experiencia que requiere un sincrotrón. Los funcionarios del Alba consideran que para encontrar a la persona idónea, México tendría que llevar a cabo un proceso de reclutamiento a nivel global. El Alba reclutó a Joan Bordas, español/catalán que llevaba mucho tiempo de vivir en el extranjero. Salvador mencionó que la mancuerna de Ramón Pascual con Joan Bordas funcionó muy bien; por un lado, Ramón tenía los contactos político/científicos y, por el otro, Joan Bordas tenía experiencia en el manejo de un sincrotrón y los contactos científicos en el medio.

María Maralva.

· *Identificar a un experto en aceleradores*: el jefe de aceleradores del Alba era alemán, reclutado porque en ese momento no había en España personal calificado para desempeñar esta función. La mayoría de los jefes de sección vinieron del extranjero. Salvador indicó que se necesitan por lo menos dos niveles de personas con experiencia.

· *Identificar el tipo de sincrotrón que México podría construir*: en enero de 2014, A. Flores Tlalpa, un miembro del equipo científico del Alba, preparó un estudio en el cual analizó diferentes posibilidades técnicas para la construcción de un sincrotrón mexicano. Este estudio es un buen principio para explorar las características técnicas de un instrumento de esta naturaleza.

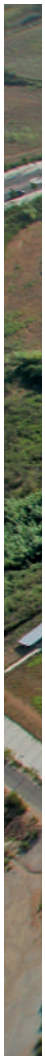
Conceptual design study of a Storage Ring: First idea for a Mexican Light Source

A. Flores-Tlalpa, ALBA-CELLS, Cerdanyola, Spain.
January 2014

Abstract

This technical report compares different Storage Ring lattices at linear optics level. These lattices are MAX IV (Sweden), SIRIUS (Brazil), NSLS II (U.S.), ESRF II (Europe), DIAMOND II (U.K.), SOLEIL (France) and ALBA (Spain). This is the starting point for an eventual new lattice design, which can be used for a possible future Mexican Light Project. These new designs are based on the 7BA cell of MAX IV (Max Lab) and the DBA cell of ALBA (CELLS). The magnetic lattice structure of MAX IV has one of the most innovative designs of the present time and allows a low emittance of the machine, a requirement that is currently in high demand by users of synchrotron light. However their main disadvantages are high costs and the limited space provided for insertion devices and radio frequency system.

Meanwhile, the magnetic lattice structure of ALBA has the advantage of providing a reduced cost and a larger free space for insertion devices, although the emittance is almost twice the one based on the MAX IV lattice. Based on the 7BA cell such as of the MAX IV facility, the results with the smallest circumferences are: a circumference C = 343 m and a horizontal emittance εx= 1.2 nm·rad. Based on the ALBA DBA cell, these parameters are: C = 336 m and εx= 2.3 nm·rad. In all cases the beam energy has fixed to 3 GeV, which is the currently value of the ALBA and MAX IV facilities. Since currently the Mexican project does not have specific requirements and budget, this report also presents other solutions with larger circumferences.



ANÁLISIS FODA

Este análisis se hizo con base en las experiencias recabadas por el equipo del Alba:

FORTALEZAS (F)

1. Liderazgo científico y técnico.
2. Apoyo político a nivel ministerial (regional y federal).
3. Presupuesto total aprobado para la construcción de las primeras siete líneas de experimentación.
4. Modelo jurídico específico.
5. Capacidad científica y técnica para construir un sincrotrón.
6. Construcción de dos líneas de experimentación en el ESRF para capacitar a técnicos y usuarios (BM25 y BM16).
7. Extensa comunidad de usuarios.
8. Fuerte demanda de servicios de sincrotrón (sobredemanda).

DEBILIDADES (D)

1. Falta de un presupuesto aprobado para las siguientes líneas de experimentación.
2. Falta de desarrollo tecnológico interno.
3. Transferencia de tecnología sincrotrón-industria en el proceso de construcción.
4. Falta planeación y detalle en actividades de baja tecnología.
5. Falta de una mayor participación de la industria.
6. Transferencia de perfiles de trabajo de diseño y construcción hacia operación.
7. Capacidad limitada para hacer mantenimiento correctivo internamente.

OPORTUNIDADES (O)

1. Líneas experimentales competitivas a nivel internacional.
2. Fuerte comunidad multidisciplinaria de usuarios.

AMENAZAS (A)

1. Inestabilidad económica en el país.
2. Fuerte oposición inicial de la comunidad científica.
3. Falta de un presupuesto seguro para operar.

ALBA Synchrotron

CONCLUSIONES

Es muy probable que en México esta iniciativa siga un proceso similar al del Alba. El equipo de Alba contó con el líder científico/político que se requería en ese momento, Ramón Pascual, y con el líder científico, Joan Bordas, con la experiencia necesaria para lograr con éxito un proyecto de esta envergadura. Este equipo aprovechó las oportunidades presentadas por las líneas BM25 y BM16 para capacitar a los técnicos y a los usuarios. A diferencia del LNLS, el equipo Alba decidió adquirir la mayor parte de su equipo en el extranjero, lo cual les ahorró tiempo de construcción pero les aumentó la inversión en el proyecto y disminuyó su capacidad para hacer el mantenimiento correctivo internamente.

Eduardo Cesar

SINCROTRONES BRASILEÑOS

LNLS/SIRIUS

ANTECEDENTES

La experiencia de éxito en Brasil hizo evidente que un proyecto como el sincrotrón, pese a todos los obstáculos enfrentados, se puede convertir en una realidad. Con la construcción del LNLS (Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón), Brasil le demostró al mundo que está a la altura de las mejores potencias tecnológicas del mundo, y es posible que, con la construcción de Sirius, su segunda fuente de luz sincrotrón, esta vez de cuarta generación, llegue incluso a superarlas. Se estima que la construcción de Sirius terminará a mediados del 2018.

En las últimas dos décadas, y de manera estratégica, Brasil ha incrementado la inversión en ciencia y tecnología a un ritmo impresionante. La revista *Nature*, en su edición del 12 de noviembre de 2014, indicó que el 92% de toda la inversión en ciencia y tecnología en Latinoamérica la hacen sólo tres países: Brasil, Argentina y México. Los recursos totales dedicados a ciencia y tecnología en Latinoamérica representan entre el 2 y el 3% de los dedicados por el resto del mundo. Brasil concentra el 70% de este gasto, y es el único país latinoamericano cuyo presupuesto en ciencia y tecnología rebasa el 1% de su producto interno bruto (PIB).

Brasil es líder en la mayoría de indicadores de ciencia y tecnología, aunque sería más apropiado hablar de la región de Sao Paulo, que es la provincia más rica de las 26 que tiene Brasil y donde se publica más de la mitad de los artículos científicos. La región de Sao Paulo cuenta con dos ventajas comparativas que le han permitido ingresar al club de regiones con alta tecnología en el mundo: recursos económicos provenientes de FAPESP (Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Sao Paulo), y centros de excelencia científica y tecnológica de punta. FAPESP disfruta de una de las fuentes de financiamiento más seguras y estables globalmente, al recibir por ley el 1% de todos los ingresos tributarios de la región. Esto le permite enfocar el 37% de su presupuesto, de $355 millones de dólares anuales, a financiar investigación básica y aplicada en la Universidad de Sao Paulo, así como contribuir a proyectos como la construcción del Sincrotrón Sirius, entre otros.

LNLS
(LABORATORIO NACIONAL DE LUZ SINCROTRÓN)

El Sincrotrón LNLS nació como proyecto en 1982. Tardó cinco años en ser aprobado y diez años más en construirlo (1987–1997). En total, el LNLS costó menos de $60 millones de dólares (el costo del terreno fue donado por el estado de Sao Paulo), y entró en operaciones gradualmente en 1997. El grupo que impulsó esta iniciativa estaba formado por sólo cuatro personas: Cylon Da Silva, Ricardo Rodrigues, Aldo Craievich y Roberto Lobo; este último es el que concibió la idea de construir un sincrotrón en Brasil, pero su carrera académica hizo que abandonara este proyecto muy temprano, al ser nombrado rector de la Universidad de Sao Paulo, cuando la mayoría de los políticos en Brasil no tenían idea de la importancia del papel que juega la ciencia en un país.

Cylon Gonçalves da Silva, Ricardo Rodrigues y Aldo Craievich.

Cylon Da Silva coordinador adjunto en la Dirección de Planeación para Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Sao Paulo es considerado por muchos como el padre de este proyecto. En un artículo publicado en septiembre de 1996 en la revista del Centro de Aceleradores Lineales de Stanford, Cylon escribió que la relación entre ciencia y tecnología, y el desarrollo económico de la sociedad en general, ha sido históricamente muy confusa. Esta relación entre ciencia y sociedad, que se asumía sin cuestionamiento alguno antes de la Segunda Guerra Mundial, es por hoy muy complicada, por lo que para Cylon no fue sorpresa alguna que el planteamiento

para la construcción de cualquier sincrotrón (en particular en los años ochenta y noventa) iba a generar inevitablemente grandes controversias, ya sea en Brasil o en cualquier parte del mundo. Por ejemplo, a mediados de la década de los años ochenta, la Sociedad Brasileña de Física (http://www.sbfisica.org.br/v1/) se opuso terminantemente al proyecto. Los directivos de esa sociedad firmaron una carta el 29 de abril de 1985, en la cual se denunciaba que el proyecto Sincrotrón "iba a costar mucho dinero, que desperdiciaría recursos y se convertiría en un elefante blanco".

Ricardo Rodrigues resumió los puntos expuestos por los directores de la sociedad, publicados en esa carta, donde se argumentaba que: 1) no había usuarios, 2) no se tenía la tecnología para hacerlo, y 3) los recursos asignados al proyecto absorberían todo el presupuesto para ciencia y tecnología. Ricardo elaboró lo siguiente: "unos años después de inaugurar el LNLS teníamos 1000 usuarios, la máquina fue diseñada y construida en Brasil, y pese a todos los desafíos enfrentados... funcionó perfectamente", concluyendo que "...el Sincrotrón fue el primer gran proyecto en Sudamérica que demostró que teníamos la capacidad técnica para construir este tipo de equipo, lo que aumentó la estatura del área de ciencia y tecnología en general, y de Sudamérica en particular. Esto generó que se incrementaran por un factor de 10 los recursos para la investigación en el país".

Pese el haber logrado este objetivo, a la comunidad científica le tomó algún tiempo aceptar el sincrotrón. De hecho, de acuerdo con Cylon, hay algunos científicos que actualmente todavía se oponen a este proyecto. Lo positivo fue que en la medida en que los científicos se sumaron al proyecto, la oposición empezó a disminuir, al punto de casi desaparecer del panorama científico. De hecho, el mismo fenómeno ha ocurrido a nivel mundial, y la oposición a la construcción de sincrotrones ha desaparecido casi por completo.

Un sincrotrón representa la mejor evidencia de la contribución de la ciencia y la tecnología al mejoramiento de la vida moderna.

Divulgación CNPEM

Helmut Wiedemann, miembro del Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (quien supervisó el trabajo de los brasileños en Estados Unidos) junto a los investigadores Liu Lin, Hélio Tolentino e Ricardo Rodrigues.

Cylon piensa que una de las funciones principales de grandes proyectos científicos en los países del tercer mundo es desarrollar capacidades para investigar y aumentar la calidad de la misma.

Según Cylon, la aprobación del Sincrotrón fue "oportunista", ya que, mientras se trataba de conseguir fondos para el Sincrotrón, el Gobierno de Brasil creaba el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Su primer titular, Renato Archer, era una persona que venía de la armada y que había trabajado en los años 50's con otro almirante brasileño que desarrolló proyectos de energía nuclear en Brasil. El ministro estaba muy sensibilizado en temas tecnológicos de relevancia mundial, y estaba enfocado en que Brasil fuese tecnológicamente independiente. Cylon añadió que: "... le presentamos el proyecto al ministro (Archer) y contamos con la ventaja de que tenía un conocimiento sólido de la función de los aceleradores y comprendió lo que intentábamos lograr desarrollando una tecnología propia. Esta reunión fue un momento decisivo en el proceso para que el proyecto se hiciese una realidad".

Todas las partes coincidieron en que la tecnología necesaria para construir un sincrotrón tendría que ser desarrollada en Brasil. El ministro Archer concluyó: "eso es lo que quiero para el país". Otra persona en su lugar, reflexionó Cylon, tal vez no hubiese reaccionado de la misma manera. A final de cuentas Cylon apunta a que la decisión de construir un sincrotrón es básicamente política: "... no hay manera de construir un caso de negocio, propiamente hablando, como si fuese una empresa privada; entendiéndolo como un caso de negocios, habría que hacer un estudio que pruebe que puede generar suficientes recursos para ser autosustentable económicamente".

Tener el "dinero en el banco" no es sino otro desafío a superar. Aunque el proyecto fue aprobado, el Gobierno nunca destinó la cantidad total de dinero necesaria para empezarlo. En Brasil el Gobierno aprueba los recursos poco a poco, año con año, mes con mes, el Gobierno no se podía comprometer legalmente con proyectos que rebasaran el año fiscal. El presupuesto federal es anual, por lo que había que pelear

Divulgación CNPEM

Casa donde operó originalmente el equipo del laboratório LNLS.

Divulgación CNPEM

Primera piedra del campus del LNLS.

sistemáticamente, todos los años, para la aprobación de estos recursos, y después para su entrega.

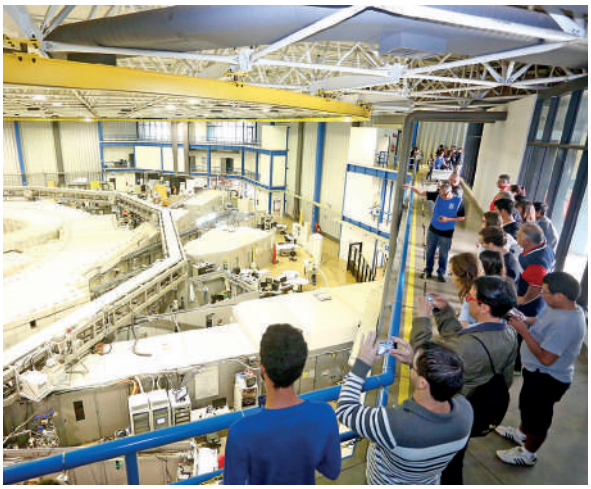
Cylon peregrinó al Congreso cada periodo presupuestal para convencer a los miembros del Comité de Ciencia, Tecnología, Radio y Televisión para que liberaran los fondos requeridos. La composición de este comité era ecléctica en cuanto a sus intereses; como tal, el conocimiento del Comité sobre el proyecto era muy difuso y en su mayoría se concentraba en aspectos de radio y televisión. A través de los años se formó un equipo integrado por cuatro legisladores muy influyentes que apoyaron en este proceso presupuestario. Estos miembros pertenecían a diferentes partidos políticos; el proyecto tenía apoyo de ambos extremos en el espectro político, desde la ultra derecha hasta la ultra izquierda. Pero a pesar de este apoyo, ninguno de estos partidos quiso incluir el sincrotrón como parte de su plataforma política, no veían frutos políticos en esta empresa, ya que consideraban que esta iniciativa sería muy difícil de "vender" al electorado. Estos miembros del congreso visitaron las instalaciones varias veces y fueron informados detalladamente sobre la importancia de este instrumento en el contexto científico mundial.

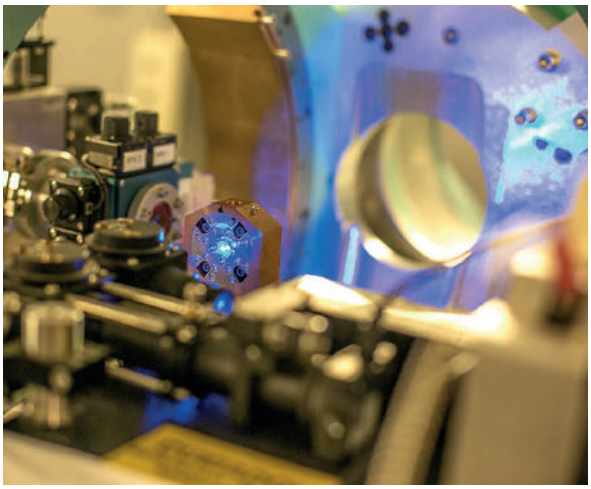
Uno de los beneficios que más se utilizó para promover el sincrotrón en el mundo político fue su utilidad para el desarrollo de aplicaciones en microelectrónica. Cylon indicó que "uno de los temas que nunca nos imaginamos en aquel entonces fue la importancia que jugaría en investigaciones de otras áreas, como la de biología". Es mucho más fácil vender las virtudes de un sincrotrón actualmente gracias a sus aplicaciones multidisciplinarias (medicina, biología, farmacología, minería, etc.) que hace 30 años, cuando la mayoría de las aplicaciones estaba enfocada a la física, química y a la emergente cristalografía de proteínas. Por ello Cylon sugirió que "hay que adaptar el mensaje al contexto actual para poder promover la idea del sincrotrón más fácilmente".

MARCO JURÍDICO

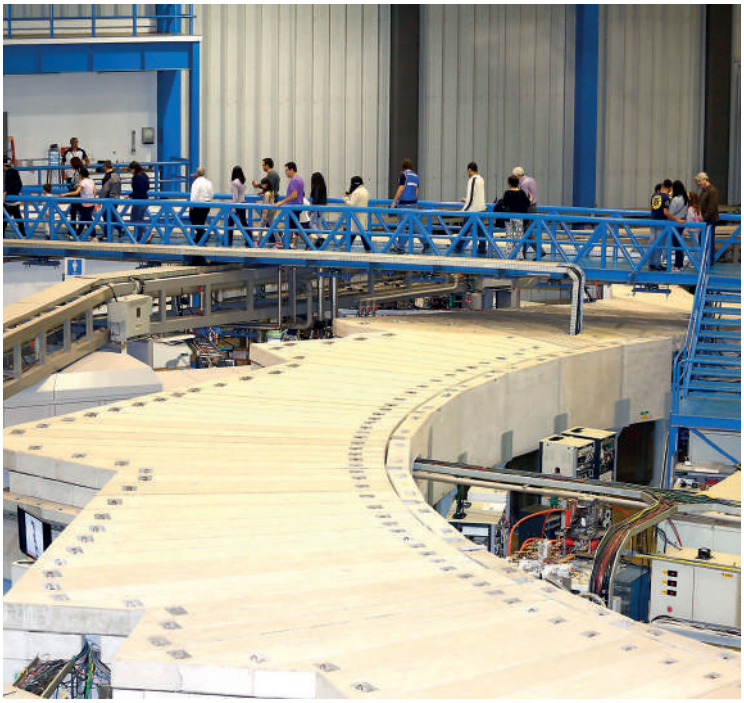
Cylon argumentó que en Brasil domina el Estado. El sector público, en el ámbito del empleo, tiene que aplicar las mismas reglas para todos los ciudadanos. Por ejemplo, en las universidades no importa si se es un investigador que produce material de calidad o si se es un investigador mediocre; el salario es el mismo. De hecho, se tuvo que crear una ley de "organizaciones sociales" que permitiera más flexibilidad, y aunque fue aprobada en 1998, todavía sigue siendo controversial. Actualmente la ley se encuentra en un proceso de revisión en la Suprema Corte, porque muchas activistas de izquierda opinan que esta legislación no es constitucional ya que introduce distinciones laborales entre los servidores públicos.

Cylon subrayó que cuando el presidente Lula entró al poder en el año 2003, la figura jurídica de "organización social" fue casi derogada y se desató una pelea política enorme para salvar este tipo de figura jurídica: "... nosotros trabajamos en el desarrollo de esta ley desde 1994, y empezamos con suerte, porque un nuevo presidente entró en funciones en 1994 y creó el Ministerio para la Reforma de Estado. En aquel entonces habíamos evaluado varios modelos de operación del sincrotrón para que funcionara como una institución moderna". Uno de estos modelos fue la ley que se aprobó. Esa ley estableció las bases para implantar un nuevo tipo de relación contractual con el Estado. Cylon comentó que, en relación con el Estado, en su estatuto se planteaba lo siguiente: "... vamos a hacer esto, nuestros objetivos y metas son las siguientes, y ustedes pueden medir nuestro avance de acuerdo con indicadores establecidos. De esta manera ustedes nos dan el dinero y cada año pueden checar si logramos lo que estaba especificado en el contrato. La evaluación se hace de manera pública".





LNLS/CNPEM



LNLS/CNPEM

Cylon narró una historia sobre la manera en que se logró el apoyo del ministro para que en la Reforma de Estado se aprobara el modelo de organización del Sincrotrón: "…en 1994 fui a ver al ministro con un documento preparado con preguntas y respuestas, y con los reglamentos propuestos sobre el modelo de organización que queríamos. Durante nuestra reunión el ministro empezó toda una tirada contra los científicos porque siempre, en su opinión, tenían la cabeza en las nubes". Cylon estaba en una esquina del salón de conferencias, y cuando el ministro terminó de hablar, respondió "…eso es chistoso, porque es exactamente lo mismo que pienso de los ministros". Este comentario rompió el hielo y de ahí en adelante se hicieron buenos amigos.

Ricardo agregó que, desde su punto de vista respecto del origen de la organización social, el LNLS nació como una institución gubernamental, no como una compañía semiprivada. A partir de 1998, después del inicio del proyecto, fue posible crear un tipo nuevo de organización que permitió que el sincrotrón operara como una entidad semiindependiente del Gobierno; no completamente independiente porque todavía estaba sujeta a algunas de las leyes y a la reglamentación del sector público, y recibe su financiamiento a través de un contrato. Antes el trato era como el que se tenía con cualquier departamento de Gobierno; había un presupuesto que especificaba cuánto se tenía que gastar en capital y en operación. El nuevo modelo tiene dos ventajas: la primera es que los empleados no son públicos, lo que significa que es mucho más fácil contratar y despedir a los trabajadores; la segunda es que el dinero que se recibe del Gobierno no está encapsulado en rubros específicos, lo que significa que el Sincrotrón puede distribuir el dinero de acuerdo con las necesidades internas. Bajo este modelo no tiene que pagar impuestos por ingresos (como si fuese una empresa privada). Sin embargo, está sujeto al pago de otros impuestos, como los de venta o cargos de importación, aunque actualmente se ha hecho este proceso menos oneroso al otorgar exención de impuestos por equipos asociados a investigación y desarrollo (las compañías privadas no tienen estas exenciones). El valor del contrato entre el Sincrotrón y el Gobierno es aprobado por un periodo de cuatro años, pero se sigue negociando y afinando anualmente.

SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL SINCROTRÓN LNLS

El sincrotrón se ubicó en las inmediaciones de la Universidad de Campinas (Unicamp), localización que se determinó tanto por la disposición de terrenos en la zona como por la cercanía a buenas vías de comunicación y a la ciudad de Sao Paulo, localizada a 83 kilómetros de distancia. Los terrenos fueron donados por el Gobierno de Sao Paulo.

LNLS/CNPEM

ESTRATEGIA GENERAL

La primera parte estaba enfocada a la tarea de ingeniería para construir una fuente de luz sincrotrón y a los instrumentos científicos asociados para la investigación; la segunda a la investigación propia de materiales, etapa interdisciplinaria, y la tercera a la creación de un laboratorio nacional que generase proyectos internacionales de colaboración, particularmente en Latinoamérica y con otros proyectos sincrotrón en el mundo. Cylon estimó que la tarea más difícil fue la tercera, porque no había precedente en Brasil de cómo formar un laboratorio nacional en un contexto con tantos intereses que se oponían a él.

DECIDIENDO QUÉ TIPO DE SINCROTRÓN CONSTRUIR

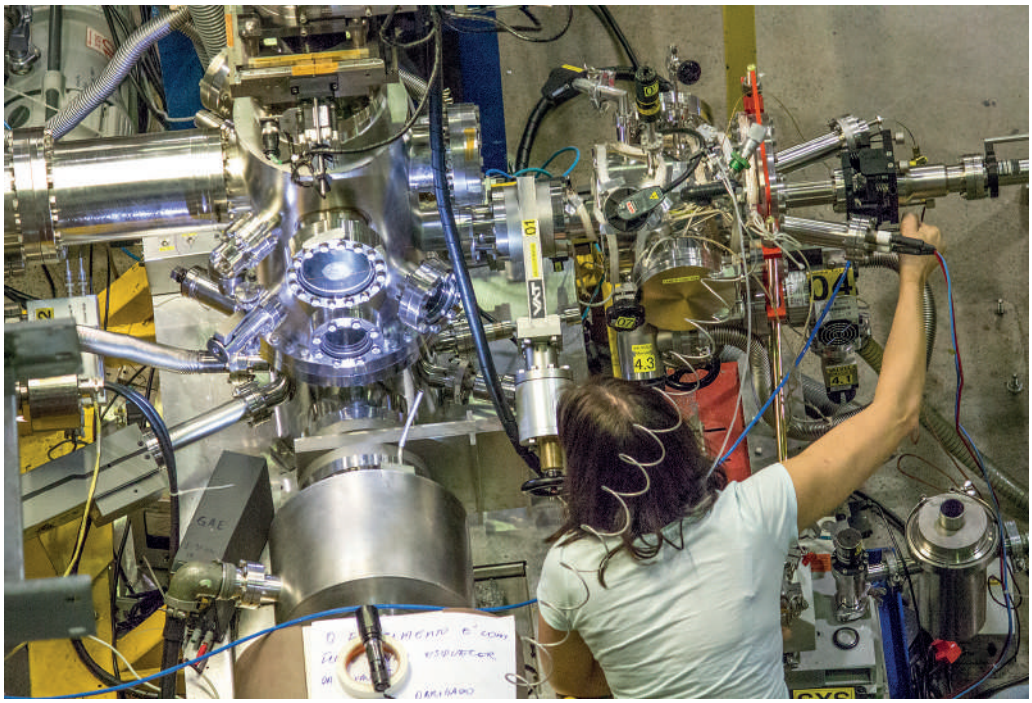
Ricardo relató que en 1983, año en que se diseñó el sincrotrón, no había nadie en el país con el conocimiento para llevar a cabo esta empresa. Así, se optó por tomar el único camino posible, aprender a prueba y error; no había tiempo para capacitar personas en el extranjero. Los estudiantes reclutados en este proyecto eran egresados de física y de carreras ingenieriles. El mismo Ricardo se capacitó rápidamente con otros dos investigadores en una estadía de tres meses en Stanford, durante la cual hicieron un diseño preliminar de la instalación completa. No fue detallada pero cubría todos los aspectos principales. Ricardo comentó "... después repartimos responsabilidades entre las personas que contratamos y los motivamos a estudiar y construir la parte que les tocaba. Formamos 13 grupos por especialización de hasta cinco personas cada uno". Tuvieron un gran apoyo del profesor de Stanford, Helmut Wiedemann, quien participó en el diseño de una primera versión del anillo de almacenamiento del LNLS, versión que fue invaluable en términos de capacitación, aunque nunca vio la luz del día. También se apoyaron en un comité internacional formado por siete personas de alto nivel quienes revisaban sus diseños y les hacían recomendaciones para mejorarlos. Se reunían dos veces al año durante tres días para discutir el proyecto. Esta práctica tuvo tanto éxito que decidieron formar un comité científico similar para el proyecto Sirius.

CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO

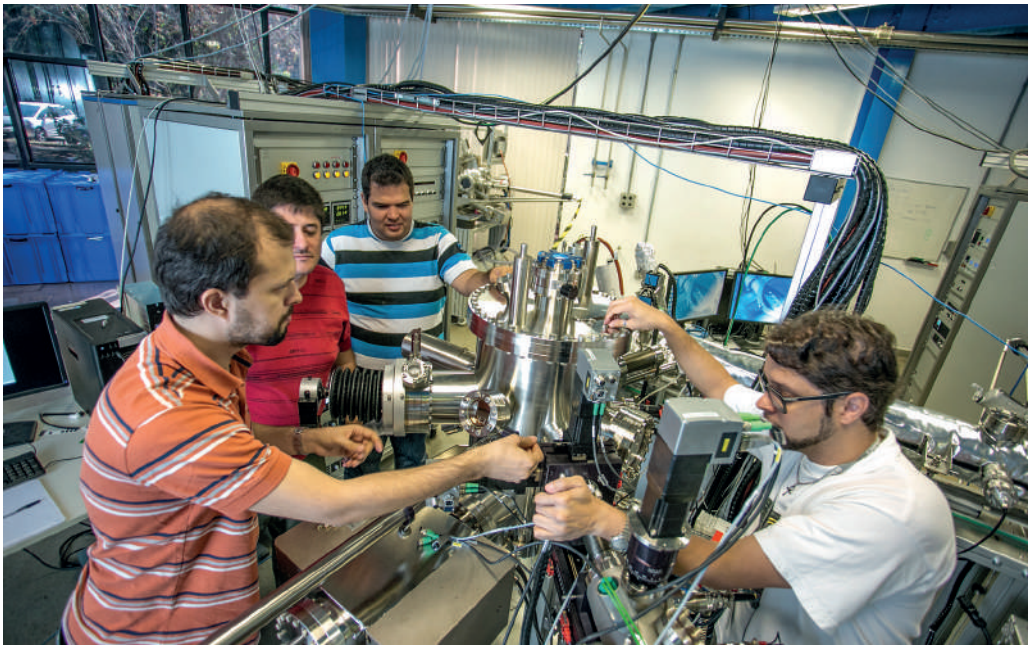
En la etapa de construcción se trató de incluir a compañías locales relacionadas con la construcción. Desde la perspectiva de la ingeniería civil, aunque había muchos elementos de baja tecnología, había otros que requerían tecnologías de frontera, como la construcción de los cimientos. La construcción del sincrotrón requirió en algunos casos de un alto grado de sofisticación; por ejemplo, para minimizar las vibraciones generadas. Era un proyecto muy sofisticado que, pese a todo, podía ser construido en su mayoría por compañías locales.

Los recursos federales asignados al proyecto impulsarían la economía local. En los casos en que no había una compañía local con la capacidad de construir lo que se demandaba, se le pidió a la compañía extranjera seleccionada que utilizara, en la medida de lo posible, mano de obra y materiales locales (este fue el caso de los imanes y de los sistemas de control). Había otros aparatos e instrumentos donde no había opciones y tendrían que ser comprados en el extranjero (bombas de vacío de alta tecnología, por ejemplo). Cylon añadió que el tiempo de construcción se podría haber reducido un par de años si se hubiera seguido el modelo australiano, que compró la mayoría de su tecnología en el extranjero y se ensambló localmente.

Cylon concluyó que un sincrotrón que balancee bien las necesidades internas de desarrollo tecnológico, las ventajas y



LNLS/CNPEM



LNLS/CNPEM

desventajas de comprar equipos e instrumentos en el extranjero, y usar, en la medida de lo posible, a proveedores locales para diseñar, construir o instalar estos equipos, permitiría construir un sincrotrón en un periodo de entre seis y siete años, y generar una gama adicional de beneficios para el país y para la región que lo hospeda.

Sin embargo, Cylon explicó que Brasil no tenía muchas opciones viables en los años 90 que le permitieran seguir otros modelos. En contraste con la construcción de LNLS, el enfoque del equipo del Sirius es el de usar, en la medida de lo posible, proveedores nacionales o extranjeros que cuenten con la última tecnología en el ramo específico que se busca. La situación es muy diferente actualmente.

En los años 90 era muy difícil importar equipo y contratar recursos humanos especializados. Era muy raro ver que compañías extranjeras de alta tecnología estuviesen dispuestas a viajar a Brasil para proporcionar servicios localmente. Este hecho confirmaba la filosofía de que si lo "construían ellos mismos, ellos aprenderían en este proceso todo lo que se tenía que saber sobre esta máquina". Esto les daría la ventaja de que si algo fallaba o se descomponía, ellos estarían en la mejor posición para resolver el problema internamente. En la actualidad el contexto político y económico ha cambiado aunque Brasil tiene todavía una economía muy cerrada y un mercado de trabajo muy reglamentado, y no es fácil conseguir que un extranjero obtenga un permiso de trabajo.

MIEMBROS DEL EQUIPO LNLS

Los científicos involucrados con el sincrotrón tomaron su construcción como una empresa personal y estaban completamente comprometidos con esta iniciativa. El equipo de científicos que construyó el sincrotrón tenía un perfil muy joven. Cylon tenía 40 años de edad, pero la edad promedio del resto del equipo científico no rebasaba los 26 años de edad. Cylon expresó su admiración por este equipo y por su empeño en lograr el proyecto al concluir que "lo hicieron porque, por su juventud, no sabían que no se podía hacer". El liderazgo y la juventud del equipo científico fueron cruciales para el éxito del proyecto, muchos miembros del equipo apenas estaban terminando sus estudios de física en Brasil. A mediados de los años 80 había solamente una persona en Brasil con la voluntad y el conocimiento para ser el líder técnico de este proyecto; esa persona era Ricardo Rodrigues, un físico muy joven de la Universidad de Sao

Divulgación CNPEM

Ricardo Rodrigues, Ruy H. A. Farias, Cylon Goncalves da Silva, Pedro Tavares, Liu Lin, Lucia Jahnel, Aldo Craeivich, Fernando da Silva Rafael, Carlos Scorzato.

Paulo que aceptó el reto de convertirse en el director técnico del proyecto y sobre él recayó la responsabilidad de construir los aceleradores.

En palabras de Cylon, la estrategia que siguieron fue la de capacitar internamente a un grupo reducido de personas aunque "había un método en nuestra locura". Queríamos que las cosas pasaran rápidamente, si hubiésemos mandado gente al extranjero a estudiar su doctorado o postdoctorado en Física hubiese tomado cuatro o cinco años antes de que regresaran... si regresaban. Y aún así no hubiesen sabido nada sobre Brasil", dónde comprar un clavo o qué compañías podrían participar en el proyecto. Entonces, los jóvenes científicos se capacitaron por periodos cortos en el extranjero. En 1989 y 1991 se contó también con el apoyo de expertos internacionales que revisaron el proyecto, que comenzó entonces con jóvenes recién salidos de la universidad para construir el acelerador lineal, el cual es importante porque envuelve todas las tecnologías básicas que se necesita conocer para construir un sincrotrón (imanes, bombas de vacío, microondas, controles, etc.). Sin embargo, entre 1997 y 1998 se decidió comprar la estructura del acelerador en China; de lo contrario, el proyecto hubiese avanzado muy lentamente. Los chinos habían aprendido a construir aceleradores en Stanford (SLAC), y en esa época dominaban la tecnología, la cual además era muy barata.

FORMACIÓN DE USUARIOS

Desde el principio se capacitó a los estudiantes en el extranjero para trabajar con usuarios. A finales de 1986, Aldo Craievich asumió como subdirector del LNLS responsable del programa científico. Aldo trabajó en paralelo para construir los aceleradores y para expandir la comunidad de usuarios, comenzando por organizar mesas de trabajo para identificar el tipo de investigaciones

LNLS/CNPEM

ofrecía el sincrotrón. En 1962 Max Perutz había ganado el Premio Nobel usando técnicas de cristalografía en el sincrotrón para determinar la estructura de la hemoglobina. Este tipo de premios internacionales motivó a los investigadores a explorar técnicas en diferentes disciplinas. Hubo una gran difusión de las virtudes del sincrotrón entre los académicos e investigadores en el país. El LNLS tiene aproximadamente 1000 usuarios anualmente. Se establecieron las siguientes reglas: los usuarios privados que quieran hacer su propia investigación tienen que pagar, y los usuarios provenientes de instituciones públicas no pagan por estos servicios. Actualmente los ingresos propios procedentes de los usuarios privados no generan más del 3% de los ingresos.

En 1992, y gracias al apoyo entusiasta de Volker Saile, el LNLS instaló su primera línea experimental en el Centro de Microestructuras Avanzadas y Aparatos de la Universidad del estado de Luisiana, en Baton Rouge. Esto permitió cumplir con tres tareas antes de empezar a operar el sincrotrón en 1997: probar que la línea experimental funcionaba de acuerdo con lo esperado, capacitar al equipo del LNLS para mantener y operar la línea en óptimas condiciones y permitir que los usuarios pudiesen conducir experimentos en la línea del LNLS.

que se llevaban a cabo en otros sincrotrones en operación. Esto permitió que la comunidad científica brasileña desarrollara ligas sólidas con usuarios de otros países.

Con cierta nostalgia, Cylon mencionó que muchos de los usuarios actuales del sincrotrón no habían nacido siquiera cuando se comenzó el proyecto. Se organizaron reuniones de usuarios a las cuales se invitó a quienes estuvieran interesados, incluyendo a las asociaciones científicas, por disciplina. No se crearon escuelas para usuarios, sino que se acordó que fueran las universidades quienes se encargaran de esa tarea. El pequeño equipo de cristalografía de proteínas que se tenía, compuesto por cinco o seis personas, era muy activo y estaba muy entusiasmado por las posibilidades que

El subdirector científico, Harry Westfahl, indicó que en el año 2014 el LNLS tuvo 1400 usuarios, trabajando tres turnos al día de lunes a viernes. La mayoría de los usuarios provenía del área de química, física y ciencias puras. El perfil de los usuarios del LNLS es diferente del que existe en el Alba y otros sincrotrones europeos, ya que es una máquina de segunda generación que no ofrece el rango de análisis que demanda otro tipo de usuarios, como el de cristalografía de proteínas. Aunque hay todavía un grupo pequeño en áreas como biología estructural, ellos producen ciencia de alta calidad, lo cual queda demostrado en los artículos publicados en revistas de primer orden. Harry añadió: "... no tenemos una gran cantidad de usuarios en otras áreas, por lo que con el Sirius tendremos una línea de cristalografía

Marcelo Andriotti

Hélio Tolentino fue parte del primer grupo que aprendió en los Estados Unidos cómo desarrollar un síncrotron.

de proteínas muy competitiva para el uso de este tipo de usuarios, pero al comienzo será la única de su tipo, esperamos que esta línea facilite el crecimiento de este grupo altamente calificado de biología estructural".

Una de las comunidades científicas con un crecimiento muy rápido es la de los químicos especializados en reacciones catalíticas, la cual es un área muy grande de investigación en Brasil. En particular, este grupo busca identificar métodos más eficientes para generar las mismas reacciones catalíticas que se obtienen por métodos tradicionales. También la comunidad de polímeros estructurales y la de ciencias básicas enfocadas a magnetismo (propiedad no convencional de los materiales) y superconductividad están teniendo un crecimiento acelerado. Harry estima que el 70% de las investigaciones realizadas corresponde al área de ciencia aplicada y el 30% al área de ciencia pura. El tipo de investigación está limitado por las técnicas del LNLS (rayos X de baja energía). Para análisis de concreto o de metales pesados se necesitan rayos X de alta energía para penetrar estos materiales. Estas limitaciones serán superadas en el Sirius.

Harry expandió este tema: "... el número de usuarios que tenemos actualmente es muy bueno en relación con otros sincrotrones, por lo que queremos concentrarnos ahora en los aspectos de calidad de la investigación. Generalmente recibimos 600 propuestas de investigación por año y aceptamos 400 (60% índice de aceptación de propuestas en promedio por línea de experimentación). Cada propuesta tiene un promedio de tres o cuatro usuarios. A partir de estas 400 propuestas generamos alrededor de 200 publicaciones en revistas científicas, de las cuales seis o siete se publican en revistas de alto impacto".

CONSTRUCCIÓN

La experiencia del Sincrotrón Brasileño es única. Cylon da Silva comentó que por razones del contexto brasileño (explicadas en Génesis) ellos decidieron construir un sincrotrón con su propia tecnología y su propia gente. El LNLS no tuvo problema alguno con las bajas tecnologías (ingeniería civil). El equipo del sincrotrón puso mucha atención en este aspecto de la construcción, en particular porque sabían que esto era una parte muy crítica y costosa del proyecto, y no tenían los recursos para hacerla de nuevo.

En los años 90 no había mucha reglamentación, por lo que el LNLS no tuvo problemas para obtener permisos de operación. Tuvieron que solicitar un permiso a la Agencia Brasileña de Energía Nuclear para operar los aceleradores porque éstos producen radiación. De hecho, la ignorancia que había sobre el tema del sincrotrón facilitó que el equipo detrás del proyecto lograse conseguir toda la documentación necesaria sin problemas. El equipo sincrotrón organizó incluso una capacitación para funcionarios de instituciones reguladoras que estaban acostumbrados a trabajar solamente con reactores nucleares. Este proceso de capacitación incluía explicar que una vez que el acelerador era apagado no había emisiones de radiación alguna y que, a diferencia de un reactor, un acelerador se podría apagar y encender todos los días (si así se deseaba). Actualmente se conoce más sobre el tema y hay reglamentaciones más estrictas.

LICITACIONES PÚBLICAS

Las licitaciones públicas eran muy específicas y, aunque la etapa de construcción fue externa en algunos casos, los proveedores seguían el diseño del equipo LNLS, el cual llevó el control de calidad internamente, estrategia que evitó disputas legales. No hubo retrasos de importancia en la entrega de equipos y la relación con los proveedores nunca fue un dolor de cabeza. Pero hubo otros factores más preocupantes; uno de ellos fue que el periodo en que se construyó el sincrotrón coincidió con el periodo de inflación económica más grande del país, con tasas de inflación del 80% mensual. A comienzos de cada mes Cylon no sabía si el dinero que le iban a entregar sería suficiente para pagar el salario de los empleados. El presupuesto era aprobado anualmente y no había variaciones a consecuencia de la inflación. Cylon tenía que viajar frecuentemente a la capital para asegurar que el flujo de efectivo no fuese detenido; recuerda que: "... fue un periodo muy estresante y difícil para todo el equipo del LNLS".

Divulgación CNPEM

El 22 de noviembre de 1997 se inauguró oficialmente el Laboratório Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS).

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Se tomó la decisión consciente de no involucrar a universidades directamente en la estructura de Gobierno del Sincrotrón, en particular porque no se quería reproducir en el sincrotrón los "malos hábitos" que había en la Academia. Se trató de ofrecer salarios competitivos dentro de Brasil y de la región de Campinas, con la introducción de la nueva ley había más flexibilidad para cambiar la estructura salarial; la única limitación autoimpuesta fue que la cantidad total por pago de salarios no podía ser mayor que el 60% del ingreso total, porque se quería garantizar que hubiese suficiente dinero para invertir en equipos y para operar.

Ricardo explicó que: "... tanto el sincrotrón como la infraestructura científica complementaria a su alrededor eran un gran incentivo para que los científicos jóvenes quisieran trabajar con nosotros. No podíamos competir a nivel salarial con IBM, y en este aspecto hemos tenido éxito reteniendo personas, porque la rotación de personal en el LNLS no es muy alta". Cylon indicó que el número de trabajadores a contratar fue el resultado de tres cosas: dinero, necesidad científica y candidatos excelentes. Cuando el sincrotrón empezó a operar había entre 120 y 130 trabajadores, la mayoría de los cuales participó en la etapa de construcción y continuó trabajando en la etapa de operación. Cylon comentó que no hubo problemas en esta transición ya que los científicos que participaron en la construcción fueron requeridos posteriormente para labores de mantenimiento. Cylon explicó que: "... teníamos una lista de más de mil cosas que se tenían que checar diariamente antes de empezar los experimentos. La experiencia de la gente en el área ayudó a que esta tarea fuese más fácil; quienes construyeron y ensamblaron la máquina eran los mejores en el país, conocían la máquina completamente y podían realizar las funciones de operación y mantenimiento sin problema alguno. También construimos en casa la mayoría de las líneas de experimentación, por lo que la transición fue muy fácil y ágil".

Ricardo y Cylon enfatizaron que el sincrotrón no es un ente totalmente independiente, sino que forma parte de una organización central llamada Centro Nacional de Investigación, Energía y Materiales (www.cnepm.br). Este Centro agrupa el LNLS, el Centro de Nanotecnologías y el Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología de Bioetanol. Esta organización administra la compra de materiales y equipo, recursos humanos, etc. La idea del CNEPM fue la de generar el ambiente propicio para estimular una gran interacción entre todas las partes, lo cual ha resultado parcialmente exitoso, finalmente esto depende de las personas; en algunos casos se logra una fuerte interacción y en otros los investigadores se encierran en sus cubículos y no interactúan con nadie.

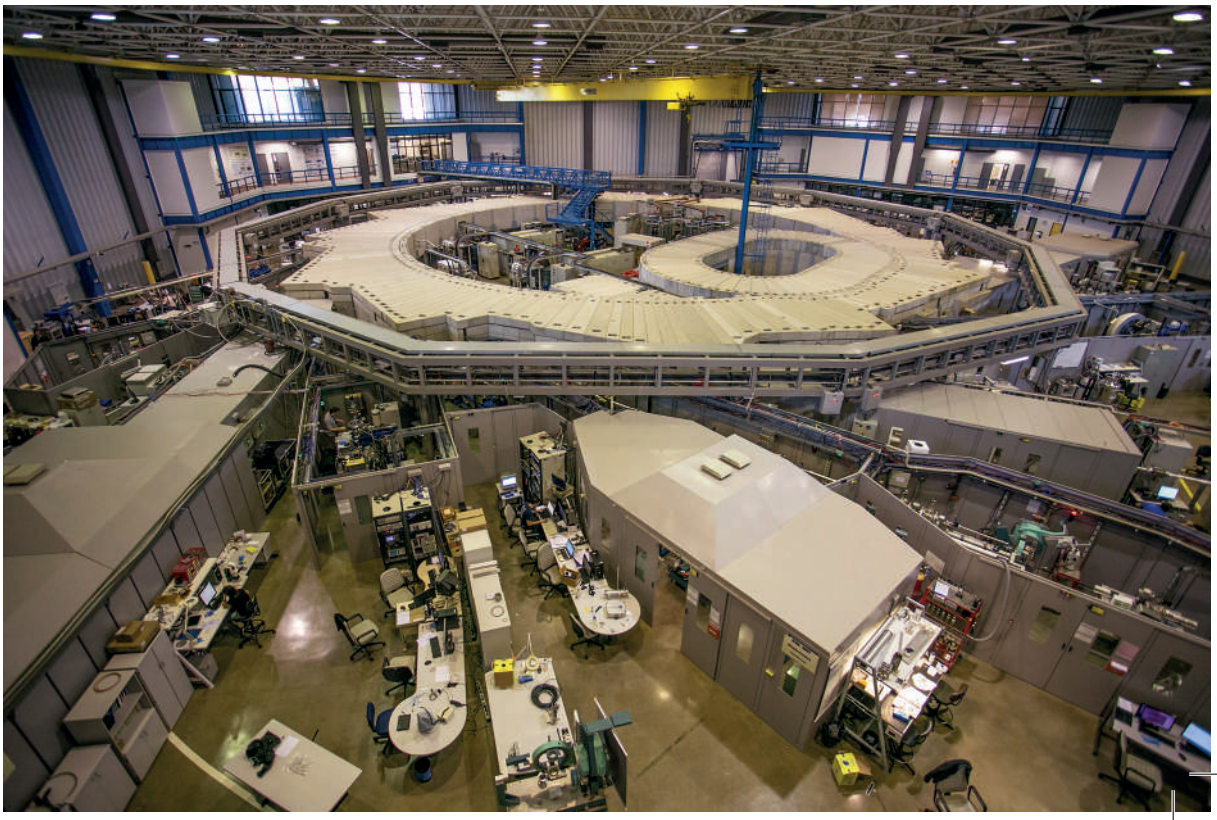
La idea era hacer del CNEPM un laboratorio de carácter nacional. El número de investigadores empleados por el CNEPM es mucho menor que el de los investigadores que son usuarios de estos equipos. Los usuarios vienen de todas partes, el 15% proviene del extranjero, principalmente de Argentina; al principio se pensó que el segundo sincrotrón brasileño, el Sirius, podría ser una colaboración entre Brasil y Argentina. Respecto de ello Ricardo comentó: "... este era el sueño que compartíamos los científicos de ambos países. La realidad es que la situación política y económica de Argentina no permitió que este sueño se concretara", lo cual fue en detrimento de Argentina, país que superaba científicamente a Brasil, pero esto ha cambiado sustancialmente.

El Consejo de Administración del LNLS tiene 15 miembros, algunos vienen de la industria, otros de asociaciones profesionales y algunos de la Academia. Un tercio de ellos son nombrados y propuestos por el ministro de Ciencia y Tecnología; un tercio son elegidos por el Consejo de Administración, compuesto por un representante de la Academia Nacional de Ciencias, otro de la Asociación Brasileña para el Avance de la Ciencia y otro de la Asociación Brasileña de Compañías que Conducen Investigaciones Industriales. Si hay una vacante, el Consejo tiene un Comité de Selección formado por cinco personas, de las cuales dos son miembros del Consejo Directivo. El Comité se encarga de hacer el anuncio público y de reclutar al personal que se requiere y le recomienda al Consejo a la persona seleccionada, entonces el Consejo vota a favor o en contra de esta recomendación. El director del sincrotrón es nombrado por un periodo de tres años con posibilidades de ser reelegido por otros tres años. Cylon comentó que anteriormente no se tenía esta limitación, él fue director del sincrotrón por 15 años.

LÍNEAS EXPERIMENTALES

El LNLS tiene 18 líneas experimentales en operación, las cuales operan al 100% de su capacidad. El Comité de Selección acepta 7 de cada 10 solicitudes para investigación en el sincrotrón, con la finalidad de concentrarse en proyectos de calidad. Durante la semana se opera en tres turnos, cubriendo las 24 horas del día, ya que no es recomendable apagar la máquina porque se pueden generar problemas de operación. Del 100% del tiempo de operación, el 25% se ocupa en actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, así como en proyectos internos. Esto significa que si el coordinador de la línea de experimentación quiere llevar a cabo alguna investigación, el único tiempo disponible tendría que ser del 25% asignado para mantenimiento; el otro 75% se destina a los usuarios, el cual está completamente reservado por ellos.

Hay un gran número de investigadores externos no asociados al sincrotrón, que evalúan los proyectos y los organizan jerárquicamente, a los cuales se les paga dos días para llevar a cabo esta tarea. En la decisión sobre el tipo de líneas experimentales a construir hay que considerar aquellas que utilizan técnicas estándar que utilicen una variedad de investigadores multidisciplinarios. Harry mencionó que sería importante desarrollar una tabla en la que se listen, por disciplina, las diferentes técnicas que se han utilizado en el sincrotrón. El LNLS elaboró un documento específico para la industria del petróleo y gas con las técnicas que se han aplicado en todo el mundo.



Divulgación CNPEM

LECCIONES APRENDIDAS

FLUJO DE EFECTIVO

Cylon concluyó que, dadas las circunstancias políticas y económicas que los rodearon, hicieron lo que se pudo. Con más dinero, y si el flujo de efectivo hubiese sido más regular, hubieran construido el LNLS más rápidamente, en lugar de haberlo terminado en 1996 lo pudieron haber hecho dos o tres años antes; hubo un periodo de cuatro años en los cuales estuvieron en estado de hibernación, en los que el proceso avanzaba muy lentamente, y la falta de efectivo consumió mucha de sus energías.

SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD

El LNLS ha operado sin tener una subestación eléctrica dedicada al sincrotrón. Roque añadió que el LNLS tuvo como desafío fundamental el tener un suministro de energía eléctrica seguro, confiable y a precios razonables. Por errores en la planeación el suministro eléctrico no estuvo contemplado en los planes originales, lo cual provocó muchos dolores de cabeza al equipo del LNLS. En el año 2001 tuvieron a su disposición dos transformadores eléctricos de alto voltaje que aliviaron en parte este problema. LNLS no tenía arreglos específicos de precio por MW/h con el proveedor de suministro eléctrico; al principio recibía electricidad de la red de bajo voltaje, lo que hacía que el suministro fuese inestable y muy caro, esta red era la misma que le suministraba electricidad a la ciudad de Campinas. Cuando cambiaron a la línea de alto voltaje la estabilidad en el suministro mejoró notablemente y el precio bajó un 30%, porque el costo de mantenimiento asociado a esta red de suministro era también mucho menor. Esta línea de alto voltaje sólo era utilizada por las industrias, que consumen mucha electricidad. Ricardo Rodrigues comentó pese a que la estabilidad del suministro mejoró notablemente, la mayoría del 2% del tiempo muerto del sincrotrón es todavía consecuencia de los problemas en el suministro de electricidad.

Otro aspecto negativo provocado por los flujos en el suministro de electricidad es el efecto que tienen en el equipo electrónico, ya que se pueden quemar los circuitos. Apagar y encender el equipo constantemente genera problemas en este equipo, por lo que hay que tener y mantener un sistema electrónico lo más robusto posible. En el Sirius se va a tener un sistema similar pero con mayor potencia (6MW/h); el costo de un sistema ininterrumpido de suministro eléctrico (UPS) es muy alto (10 millones de dólares americanos aproximadamente).

CAPACITACIÓN DE USUARIOS

Cylon explicó, con gran entusiasmo, que el mejor resultado que ha generado el sincrotrón ha sido la capacitación de los usuarios, los ingenieros y los técnicos: "Creamos carreras que no existían en el país y la gente ha sido tan exitosa en este campo que uno de los jóvenes que participó en el LNLS y aprendió este arte en Brasil es el líder del proyecto Sincrotrón en Suecia, y hay otros ejemplos. La capacitación de científicos de alto nivel es la función principal del Sincrotrón". En sus palabras, "siempre vi al Sincrotrón como una sala de espera de primera clase, yo no quería que la gente envejeciera aquí, quería que viniesen, se capacitaran, hicieran lo mejor que pudiesen y se mudaran a otras partes (universidades, industrias)". Muy pocos investigadores se han quedado todos estos años en el LNLS. El Sincrotrón Mexicano le servirá a quienes actualmente están formándose en un jardín de niños, en la primaria o a quienes todavía no ha nacido. Es un magneto que atrae a las personas más brillantes, a quienes gustan de los desafíos y asumen un gran compromiso personal; a los líderes del futuro.

EL COSTO PERSONAL

La revista *Nature* publicó un suplemento sobre las ciencias en Latinoamérica, y entre los primeros centros de investigación estaba el LNLS compitiendo con universidades de gran tamaño como la UNAM y la Universidad de Buenos Aires, con miles de millones de dólares de presupuesto. Pero alcanzar esto no fue fácil, Cylon comentó que este logro tuvo un gran costo en su vida personal ya que no le pudo dedicar el tiempo necesario a su familia.

TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO A LA INDUSTRIA

Una de las deudas ha sido transferir a la industria la enorme cantidad de conocimientos que generó el diseño, construcción y operación del LNLS. Pero, de acuerdo con Harry, la industria no estaba lista para recibir este cúmulo de conocimiento, y tampoco hubo una estrategia en el LNLS para transferir este conocimiento a otros lugares de Brasil y del mundo, "... esperamos que con Sirius tendemos una experiencia más positiva y que sea diferente en la transferencia de tecnología".

Carlos Bassan

EL FUTURO DEL LNLS

Ricardo Rodrigues, el arquitecto de los aceleradores del LNLS y actual coordinador del proyecto Sirius, comentó que no habían tomado la decisión de cerrar el LNLS una vez que el Sirius entre plenamente en operación. Su posible cierre final tendría que ser consultado con los usuarios nacionales y extranjeros. El LNLS tiene varias limitaciones, en particular en cuanto a la brillantez de la luz, lo cual lo colocaría en un nivel bajo de una máquina de segunda generación. Es posible que este cierre se haga en forma gradual.

SIRIUS

Fue aprobado por el Gobierno brasileño en el año 2012, contará con 40 líneas de experimentación. Se planea que el edificio principal sea inaugurado a mediados de 2018, para diciembre de 2019 está programado que tenga cinco líneas experimentales en operación, y que las ocho restantes entren en operación a finales de 2020. Sirius tiene un presupuesto de construcción de $280 millones de dólares, muy bajo en relación con la tecnología que va a desplegar; en parte porque compartirá cierta infraestructura básica con el LNLS, y por el conocimiento previo adquirido durante la construcción del LNLS.

El director del Sincrotrón LNLS, Antonio José Roque da Silva, ha declarado que el Sirius es una muestra al mundo de que Brasil "... es un líder en este campo y no sólo un seguidor". Aunque el Gobierno aprobó el proyecto, sólo ha autorizado la mitad del presupuesto, se espera que la otra mitad la proporcione el Banco Nacional de Desarrollo de Brasil, la Fundación para la Investigación de Sao Paulo (FAPESP) y grandes usuarios de la industria, como Petrobras.

SELECCIÓN DEL NOMBRE

El nombre de Sirius surgió de una competencia interna entre los trabajadores del LNLS para sugerir un nombre. Ricardo añadió: "... recibimos muchas propuestas. Uno de nuestros empleados sugirió Sirius porque es una estrella muy brillante y esa es una de las características principales de nuestra máquina". Cuando entre en operaciones, Sirius ocupará el segundo lugar entre los sincrotrones con más brillantez en el mundo, utilizando una tecnología de punta en relación con los sincrotrones de tercera generación.

Carlos Bassan

SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN

El lugar para construir Sirius fue seleccionado por su cercanía con LNLS, no por sus propiedades geológicas, por lo que el diseño de la infraestructura tuvo que encontrar soluciones para las características del terreno; por ejemplo, se construyó un prototipo del piso para examinar cómo respondería a las vibraciones y a los cambios de temperatura. Sirius abarca 15 hectáreas y el edificio fue diseñado con detalle en un periodo de 18 meses, con un costo de 2.5 millones de dólares.

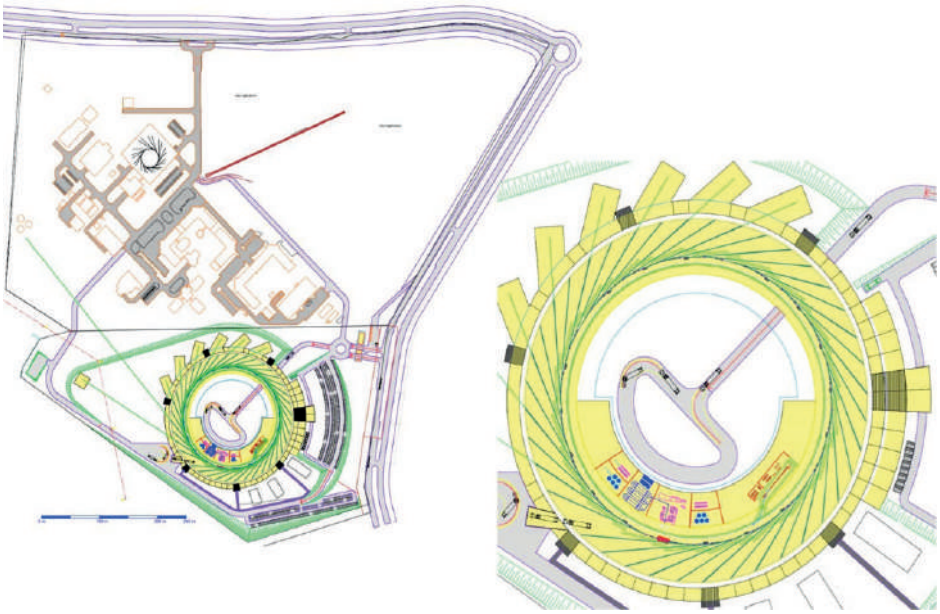
Oscar Vigna, persona a cargo de la ingeniería del edificio que hospedará a Sirius explicó que se formó un equipo científico-técnico que en 2011 visitó varios sincrotrones con el objetivo de aprender cómo habían sido diseñados y construidos. Las visitas incluyeron los sincrotrones Diamond, Soleil, Alba y Shanghai. Oscar agregó: "... durante estas visitas intercambiamos experiencias con otros ingenieros y coincidimos con ellos en que el principal desafío que teníamos era lograr la estabilidad de los cimientos que sostendrían los aceleradores y los haces experimentales de luz". En 2012 se llevó a cabo la contratación del proyecto ejecutivo, lo que permitió empezar el proceso para contratar a las empresas constructoras.

El equipo Sirius ya contaba con todas las especificaciones técnicas del edificio y de los equipos más importantes. Oscar comentó que en Brasil no es fácil encontrar una compañía experta en todas las áreas que se requieren, por lo que optaron por contratar una compañía que coordinara una multitud de empresas constructoras con especializaciones específicas.

Esperaban tener todos los planes del edificio en ocho meses, pero les tomó 18. En particular porque tuvieron que resolver muchos temas relacionados con los cimientos, en los cuales los técnicos de la empresa contratada, trabajando en equipo con los técnicos del Sirius, desarrollaron una técnica de cimientos innovadora. Oscar describió este proceso con mucho detalle: "... nuestro suelo es distinto al de España y al de Inglaterra, por lo que nuestra solución tenía que ser diferente; y no sólo eso, sino las características de nuestro sincrotrón son diferentes de las estudiadas en Europa. Nuestra máquina estaría "más apretada" (en un espacio más confinado). Las vibraciones que se generarán serán diferentes. Fabricamos una serie de prototipos de pisos y los evaluamos cuidadosamente.

Comparamos cómo se transmitían las vibraciones de un tipo de cimiento a otro y lo modelamos matemáticamente y corrimos varias simulaciones. Desarrollamos una técnica innovadora para los cimientos que es el resultado de una combinación entre el Sincrotrón Diamond en Oxford con la usada en el Sincrotrón Max IV en Suecia. Esto incluía una cimentación con pilares profundos, de 15 a 17 metros de largo. La solución de Suecia fue construir los cimientos con una profundidad de cuatro metros y substituir la tierra por una tierra mezclada con cal. En el Sirius usaremos cemento con una profundidad de tres metros. Esta tierra se compacta en paquetes de 25 centímetros de diámetro, de tal manera que formamos un bloque muy grande, similar al de una piedra gigantesca, con una rigidez suficiente para amortiguar las bajas frecuencias que se propagan a través del suelo. El túnel del anillo del acelerador tendrá paredes de hormigón entre 1 y 1.2 metros de grosor, la cubierta tendrá un metro de ancho y el piso tendrá 90 centímetros de textura; en esta región, por ser más pesada, vamos a plantar 1300 estacas que van a sustentar toda esta estructura y todo este piso que fue modificado. Estas estacas

Divulgación CNPEM



tendrán 40 centímetros de diámetro, y entre 11 y 12 metros de profundidad. Las estacas se clavan directamente en el piso y forman un colchón entre el piso y el terreno, donde hay un espacio de cinco centímetros en el que no hay contacto entre el terreno y el piso".

Oscar indicó que todos los estudios geológicos de cimentaciones y los expertos que trabajan con pisos y terrenos (mecánica de suelos) les dijeron que esto no era necesario y que no lo iban a necesitar, pero para el equipo de Sirius esto era una garantía de que con el tiempo no tendrían problemas. Oscar resumió: "... es una solución crítica en donde el enfoque principal es la calidad y no el costo". Es un tipo de redundancia, una seguridad que nos garantiza que no estaremos arriesgando todo el dinero del proyecto, tirándolo por la ventana.

Roque indicó que, a diferencia del LNLS, en donde la mayoría de los equipos como los imanes fueron construidos en casa, en el Sirius desarrollaron una alianza con compañías brasileñas para la construcción y el desarrollo de equipo, como los imanes, de acuerdo con un diseño generado "en casa". Roque explicó: "... una vez que los recibamos (los imanes) evaluaremos si fueron construidos de acuerdo con nuestras especificaciones técnicas. Para esto compramos una máquina de medición en Alemania, país que cuenta con la última tecnología en esta materia". La lista de proveedores no es muy extensa ya que hay pocas empresas internacionales y nacionales que vendan este tipo de tecnología, y en algunos casos su propia tecnología les permitía hacer cosas en casa. Sirius, por ejemplo, va a producir las cámaras de vacío en casa. Roque comentó que ellos aprendieron esta tecnología en el CERN. La experiencia técnica que ha generado el LNLS ha hecho posible que el equipo Sirius desarrolle internamente los prototipos de equipo clave, aunque éste sea construido en el extranjero.

Brasil tiene una gran ventaja porque gracias al LNLS ha acumulado una gran cantidad de conocimiento, por lo que su tiempo de respuesta para reparar algún problema se mide en términos de horas, no de días. Roque explicaba: "... el equipo que manejamos tiene

Divulgación CNPEM

El 9 de junio de 2016, Dilma Rousseff, ex Presidenta de Brasil visitó el proyecto de construcción Sirius.

un índice de seguridad de operación de casi el 98%, es uno de los mejores niveles de seguridad de operación en el mundo." El suministro de energía eléctrica representa el 40% de las fallas en la operación del sincrotrón. Esto, sin embargo, no tiene nada que ver con la operación del sincrotrón en sí. Oscar añadió: "si la electricidad es afectada por una tormenta o un accidente en alguna parte de la ciudad, nosotros nos vemos afectados. Tenemos un mantenimiento preventivo muy sólido."

En 2012, una vez que el Gobierno aprobó la construcción del Sirius, hubo que entregar un reporte detallado de diseño (aceleradores), lo cual implicó una gran interacción entre los físicos y los ingenieros; el producto de esa interacción fue la estrategia a seguir para el diseño y construcción de cada elemento de la máquina, que tiene que ser revisada y aprobada por el Comité Asesor Internacional.

Todos los sincrotrones pasan por el mismo proceso. Usualmente se pagan los viáticos y pasajes de los miembros del Comité y algo simbólico por su trabajo de asesoría. Esta revisión es normalmente de tres días. La primera sesión fue en 2012; en la reunión el Comité lanzó el desafío de elaborar un proyecto más agresivo porque el reto actual era construir máquinas de emisiones ultra-bajas (un nanómetro de radiante), máquinas que están listas para responder a las necesidades del futuro, con una configuración más propia de la cuarta generación que de la tercera. Esa es la tendencia, sobre todo si estará operando durante los próximos 25 años, similar a como está siendo diseñado el Mark IV. El grupo de aceleradores trabajó frenéticamente durante todo un mes para proponer un nuevo diseño, el cual implicaba pasar de tener tres imanes a siete. La razón de ello es porque la emisión es proporcional al número de dipolos al cubo; entre más dipolos haya se obtiene una emisión menor. El ideal es tener más dipolos, pero no se trata sólo de poner más, sino que hay que ensamblarlos en grupos de cuatro para incrementar el foco, y en grupos de seis para

corregir aberraciones. Pero si se incrementan los dipolos, el anillo de almacenamiento y el edificio tienen que incrementar su tamaño y, por lo tanto, el costo del proyecto también se incrementaría; el desafío entonces, es incrementar el número de dipolos sin incrementar mucho el tamaño de la máquina. Se necesitan imanes más fuertes, mejores cámaras de vacío, etc. Todo tiene que ser más estable en relación con las vibraciones, con un mejor alineamiento, y por lo tanto la complejidad del proyecto crece.

Finalmente, el equipo de aceleradores logró un gran diseño con cinco dipolos. La emisión del proyecto, se pasó de 1.7 a 0.28 nm (nanómetros) y se logró casi un 600% de ganancia en brillantez. Este rediseño provocó que se tuviera que diseñar todo el equipo nuevamente. El anillo de almacenamiento no se incrementó sustancialmente, pues pasó de 480 metros a sólo 518 metros. El grupo de aceleradores hizo un trabajo extraordinario, a pesar de las limitaciones del bajo presupuesto, con el cual era imposible incrementar el tamaño del edificio más allá de un 10%. Este diseño, por supuesto, está permanentemente evolucionando y es un proceso que requiere innovación constante, lo cual implicó que, en los casos en los que se trabajaba con compañías brasileñas o internacionales, había que trabajar conjuntamente en el desarrollo de las nuevas especificaciones técnicas. Una de las decisiones clave que se tomaron fue qué tipo de sincrotrón se quería construir, entre una posición conservadora, en la cual los aspectos tecnológicos son más conocidos, y una posición de elevar al máximo posible el nivel de desafío tecnológico que se estaba dispuesto a tomar, con el riesgo mayor que esta decisión implicaría.

El número de líneas es otro factor importante, ya que determina el tamaño de la máquina y determina el futuro crecimiento de la comunidad de usuarios; es un plan a largo plazo. El proyecto se diseñó para alojar 40 líneas de experimentación, aunque esto puede cambiar mínimamente en caso de que se decida tener diseños diferentes, lo cual podría variar el número de líneas entre 38 y 43. Inicialmente se planea empezar con 13 líneas de experimentación, y el siguiente paso es el diseño de las primeras líneas.

Hay técnicas estándar que un gran número de usuarios podría demandar (difracción). Está presente el riesgo de que, si sólo se escucha a la comunidad de usuarios actual, esto iría en detrimento de la implementación de otras técnicas de análisis emergentes, actualmente de gran beneficio para una gran variedad de disciplinas. Definir la voz de una comunidad de usuarios (paleontólogos, oceanógrafos, agricultores, etc.) emergente o que todavía no existe es un gran desafío que enfrentan todos los sincrotrones.

Con la finalidad de involucrar a los proveedores nacionales en la construcción de Sirius, se diseñó una estrategia integral que incluyó:

- Identificar a los proveedores nacionales que podrían tener la capacidad de construir alguna parte del equipo necesario.
- Identificar las áreas críticas y altamente especializadas a las cuales no les sería posible construir en Brasil.
- Identificar a las compañías brasileñas con la capacidad técnica para construir este equipo, clasificadas por áreas de especialización, a las cuales se invitó a participar en el proyecto.

Se realizó un sumario técnico sobre los 20 desafíos más grandes que habría que superar, los cuales se discutieron en una mesa de trabajo con las 50 empresas identificadas.

Roque añadió: "... invitamos a las compañías de diferentes maneras, directamente a través de anuncios, de alianzas con otras organizaciones gubernamentales que tenían contacto con este tipo de compañías, etc. Fue un proceso que consumió mucho tiempo. Las compañías tenían que enviarnos una carta de intención, recibimos 34 cartas de

Herton Escobar/Estadao

intención. Nos apoyamos en FAPESP (http://www.fapesp.br/en/) y FINEP (http://www.finep.gov.br), ambas organizaciones tienen un acuerdo para apoyar financieramente el desarrollo de industrias a fondo perdido por 14 millones de dólares. Con base en ello generamos un "llamado público para propuestas de construcción de equipamiento relacionado con el Sirius".

El dinero para este fondo, al provenir de otras fuentes, no afectó el presupuesto del Sirius. Esto permitió que las empresas que tenían la capacidad de participar en el proyecto minimizaran los riesgos económicos de participación. Por otro lado, esto también redujo el costo de proveer el equipo al Sirius, ya que el costo del diseño del equipo no entraría en el precio final. No había obligación de Sirius de comprar la tecnología de estas compañías si consideraban que el concepto no respondía a sus necesidades técnicas. Había un acuerdo entre las partes en el sentido de que si el concepto diseñado tenía las características técnicas especificadas, y si el precio era razonable, entonces comprarían la tecnología de esas compañías nacionales. La definición sobre qué se considera "un precio razonable" estaría determinada por la negociación entre Sirius y FAPESP. Respecto de la pregunta relacionada con la cantidad de dinero extra que se estaría dispuesto a pagar para desarrollar esta tecnología en Brasil, en lugar de comprarla más barata, por ejemplo en China, la respuesta fue que esto sería analizado caso por caso, y de ser posible llegar a un acuerdo, los fondos adicionales tendrían que provenir de FAPESP o de otra parte del Gobierno, no del Sirius.

Este tipo de estrategia no se había puesto en marcha antes en Brasil, por lo que tenía un alto nivel de riesgo. La implementación de la estrategia le tomó al equipo de Sirius, FAPESP y FINEP más tiempo de lo esperado porque había que analizar con detalle los aspectos legales de este tipo de contratos. Roque enfatizó que esta estrategia tenía una connotación de carácter nacionalista y que no tenía nada que ver propiamente con la construcción de un sincrotrón. Internamente hubo que negociar la cantidad de dinero y cuánto tiempo se estaría dispuesto a esperar para ver si esta estrategia podría tener resultados. Otros sincrotrones en el mundo no tuvieron que instrumentar estrategias de esta naturaleza.

Roque esperaba que esta convocatoria se hiciera a finales de mayo de 2014, pero su complejidad lo retrasó hasta septiembre de ese mismo año (http://lnls.cnpem.br/companies-invited-participate- sirius-project/). La máxima cantidad otorgada, entre empresa y proyecto, sería de $530,000 dólares. El detalle final se puede obtener en http://www.fapesp.br/8909. Roque expresó su desilusión por no haber comenzado antes el trabajo inherente a esta estrategia.

También estaba presente el riesgo de que el Gobierno pusiera ciertas limitaciones presupuestales y/o que afectara el calendario de actividades de construcción de Sirius, con el objetivo de dar más tiempo para que funcionara la estrategia de proveedores nacionales. Hubo otros casos en los que el equipo Sirius estableció acuerdos con proveedores siguiendo otras rutas. La construcción de los imanes fue producto de una alianza entre Sirius y WEG (http://www.weg.net/br/Media-Center/Noticias/Produtos-e-Solucoes/Desafio-Tecnologico), compañía brasileña de componentes para la industria automotriz, con la cual trabajaron conjuntamente durante el proceso de construcción de los imanes. Esta estrategia de trabajo conjunto le permitió al equipo Sirius desarrollar la capacidad para resolver cualquier problema en la construcción de los imanes en forma inmediata. El diseño de las partes también le permitió al equipo Sirius ser autosuficiente en dos áreas: en el mantenimiento preventivo y correctivo, y en su capacidad para proponer maneras de hacer las cosas más eficientemente.

El espíritu de cooperación que se manifiesta en la comunidad de sincrotrones hace que el conocimiento fluya rápidamente en la red de operadores del sincrotrón. Esta situación hace muy difícil patentar el conocimiento que se genera en el proceso de mejoramiento del equipo en operación, lo cual tiene tanto aspectos positivos como negativos, pero sin este espíritu de cooperación no se hubiera avanzado tan rápidamente en el área de radiación de la luz sincrotrón en todo el mundo.

MODELO JURÍDICO

Roque añadió que el mismo marco jurídico de "organización social" que rige el LNLS sería adoptado por el Sirius. Explicó que era crítico tener un sistema de administración que permitiera tomar decisiones rápidamente para negociar con el Ministerio, con proveedores de financiamiento, etc., y agregó que lo ideal sería trabajar como una compañía privada sin fines de lucro. Como el origen del dinero era público, Sirius estaría sujeto a procesos de supervisión y auditoría gubernamental de acuerdo con lo establecido por la Ley.

En el 2014, el LNLS tenía 230 empleados, entre permanentes y bajo contrato temporal, que trabajan simultáneamente en el proyecto Sirius, entre los cuales hay algunos postdoctorados de China; el personal permanente no rebasa los 90 empleados. Ricardo Rodrigues coordina los aceleradores; Harry

Divulgación CNPEM

las líneas experimentales; Óscar el edificio, la infraestructura del edificio y las instalaciones; y Cleonice Ywamoto la administración. Roque señaló que para Sirius era importante tener un equipo pequeño dedicado a la compra de equipo (un gerente de proyectos, un abogado, un contador, etc.).

Roque consideraba imprescindible contar con un gerente de proyecto que se encargara de monitorear el calendario de actividades, de checar que éstas se lleven a cabo de acuerdo con lo programado y que el dinero se gaste en aquello para lo cual fue destinado, porque los investigadores pueden gastar el dinero siguiendo otras prioridades. El equipo Sirius tenía una ruta crítica muy detallada de actividades.

Ricardo explicó: "... contratamos a Ingenium (www.ingenium.net), una compañía internacional con oficinas en Brasil, para que coordinara todas las actividades del proyecto ejecutivo. Hubo también otras compañías interesadas en involucrarse con el proyecto; para citar una de ellas, la compañía que coordinó el proyecto del Alba compitió por ese contrato pero sin éxito. La idea era que Ingenium se encargaría de la arquitectura, la ingeniería civil, los cálculos, el aire acondicionado, la electricidad, etc. Esto generó más de 700 planes y prototipos para construir el edificio". Ricardo indicó que el 80% de Sirius sería construido en Brasil y 20% en el extranjero. El acelerador lineal estuvo entre los equipos más grandes adquiridos en el extranjero. El proveedor del LINAC fue el Instituto de Física Aplicada de Shanghai, China (http://www.sinap.cas.cn), con un costo de seis millones de dólares; esto, según Ricardo, ahorró mucho tiempo.

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE LÍNEAS DE EXPERIMENTACIÓN

Harry Westfahl comentó que cuando se tiene una comunidad de usuarios madura es posible identificar las necesidades de las nuevas líneas de experimentación con base en las necesidades de investigación de esa comunidad; y no sólo eso, en un mundo ideal la comunidad de usuarios debería participar activamente también en el diseño del sincrotrón, no solamente en el de las líneas de experimentación, las cuales pueden cambiar y evolucionar de acuerdo con las necesidades de los usuarios. Henry indicó que hay usuarios que tienen una idea muy clara de las áreas que quieren investigar en los próximos 20 años.

Harry planteó que aún más importante que el tipo de líneas eran los detectores que se usarían en las líneas de experimentación, y explicó: "... muchas veces la comunidad científica gasta cientos de millones de dólares en construir nuevos sincrotrones y líneas de experimentación sin llegar a aprovechar sus capacidades técnicas; si gastaran algunos miles de dólares más podrían adquirir detectores que les daría cinco veces mejores resultados. Los detectores son flexibles; los aceleradores, una vez que se construyen, son muy difíciles de cambiar".

Para Harry el proceso actual de selección y diseños de sincrotrones, así como las líneas de experimentación, siguen un proceso "al revés". El siguiente es su argumento: "En un mundo ideal, una vez que los científicos identifican el fenómeno que quieren estudiar

Divulgación CNPEM

y lo que quieren detectar, es cuando se puede construir la línea de experimentación de luz y las características que debe tener el acelerador. Lo que pasa en realidad es que los científicos construyen la mejor máquina que se puede con el presupuesto que tienen. Las líneas de luz para experimentación se diseñan con base en el conocimiento que se tiene en esta área, adquirido gracias al trabajo realizado en el sincrotrón en cuestión; posteriormente se identifica la ciencia que estos haces de luz pueden realizar y se compran los detectores relevantes. El proceso, en suma, es completamente al revés".

Harry opina que "es de gran importancia tener un grupo de personas que desarrolle detectores, ya que la calidad de ellos determinará la calidad de la información capturada, y por ende la calidad del experimento". Además, se trató de concentrar la atención en las industrias más grandes del país con necesidades tecnológicas, como petróleo y gas (Petrobras), así como agricultura y minería. También había que considerar la posibilidad de involucrar a las industrias críticas en el diseño de líneas de experimentación futuras.

Según Harry, Sirius comenzaría a operar con cinco líneas de experimentación, en cada una de las cuales se harían mejores experimentos que los que se hacían en ese momento, siempre de la misma naturaleza. Eso ayudaría en la transición para que los usuarios adquieran mayor confianza en las líneas de experimentación ya conocidas. Se planteó tener solamente una línea de experimentación para proyectos más sofisticados y diferentes de los que se estaban llevando a cabo en el LNLS. Se propuso hacer lo posible para mantener en operación el LNLS por un periodo de dos años y empezar Sirius con cinco o seis líneas de experimentación. La determinación de estas líneas fue un problema complejo, porque

la ciencia que se quería desarrollar estaba pensada para los problemas del momento o los del pasado, pero no para los del futuro cercano, lo cual se tiene que definir en una estrategia de desarrollo nacional con un rango de 20 años.

Cylon expresó la idea de que en las líneas de experimentación hay que separar el equipo óptico de la estación experimental con sus respectivos detectores y sensores específicos, a lo cual habría que sumar que en algunas disciplinas hay investigadores expertos en ciertas técnicas de análisis; por ejemplo, el Sincrotrón Europeo ESFR tiene líderes en el área de paleontología, como Paul Tafforeau, que han desarrollado sus propias técnicas de análisis; los investigadores en esta área que quieran tener resultados de alta calidad se tienen que capacitar en esta técnica con este tipo de expertos internacionales, quienes están creando nuevos paradigmas en el área de investigación y diseño.

En la medida que se vayan abriendo líneas de experimentación en Sirius se tendrían que ir cerrando sus equivalentes en LNLS. Esta estrategia permitiría que los usuarios experimentaran una transición gradual entre los dos sincrotrones. El mayor costo para implementar esta estrategia de funcionamiento y de operación simultánea era la electricidad; no era muy realista pensar que al abrir las líneas en Sirius se pudiera proveer de servicios desde el primer momento a los 1400 usuarios que se tenía anualmente.

FORMACIÓN DE USUARIOS

El LNLS tuvo el reto de incrementar el número y tipo de usuarios. Al principio sólo tenían 10 y la mayoría eran físicos. Actualmente la situación es radicalmente diferente, hay más de 3000 usuarios en Brasil, de los cuales el 15% procede del extranjero (la mayoría de Argentina). Cuando el comité científico aprueba un proyecto, en los casos necesarios se pagan los viáticos y pasajes de dos investigadores, independientemente del país del que procedan; los investigadores argentinos han sido grandes beneficiarios de esta ayuda financiera. La estrategia para atraer usuarios que utilizarán en Sirius será la misma del LNLS:

- Organización de mesas de trabajo.
- Reuniones anuales de usuarios.
- Cursos de capacitación para el uso de técnicas sincrotrón.
- Impulso y apoyo a investigadores destacados para que impartan cursos de estas técnicas de análisis en sus propias instituciones académicas y/o de investigación.

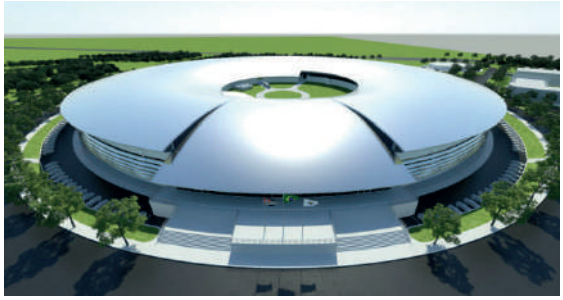
Roque comentó que en conversaciones con el director del Sincrotrón Chino habían identificado tres grupos principales de usuarios: el primero formado por físicos que conocen perfectamente las técnicas sincrotrón y quieren llevar a cabo experimentos muy sofisticados (superconductividad, magnetismo, etc.), por lo que es importante tener

LNLS

algunas líneas de experimentación que cubran esta demanda; este es un grupo que no requiere de mucho apoyo porque sus integrantes interactúan en el mismo nivel de conocimiento que los técnicos de casa. El segundo grupo está formado por investigadores de sectores estratégicos, como agricultura, petróleo y gas; este grupo no conoce con detalle los beneficios del sincrotrón, y sin el apoyo de técnicos especializados del lugar probablemente nunca utilizarían el sincrotrón; no saben cómo planear el experimento, que tipo de análisis y técnicas pueden utilizar, etc.; por ejemplo, si se quiere identificar las variedades de arroz más nutritivas, estos científicos tienen una buena idea del problema y del resultado que esperan, pero no de cómo obtenerlo usando un sincrotrón; estos investigadores requieren de mucho apoyo técnico. El tercer grupo está formado por investigadores de la industria, en estos casos la industria paga por estos servicios de apoyo, lo que les permite estar bien informados respecto del proceso de selección de proyectos que tienen acceso al tiempo sincrotrón, y por tanto son los que usualmente ingresan en el proceso de selección con base en criterios de mérito científico; estas solicitudes son evaluadas por un comité de revisión.

Los investigadores de la industria pagan el tiempo sincrotrón porque, contrariamente a los grupos uno y dos, éstos no tienen que publicar sus resultados. Este grupo también presenta otros desafíos, usualmente la responsabilidad del sincrotrón se limita a conducir el experimento, recabar la información y los datos pertinentes, y entregarlos al usuario industrial para su posterior análisis; sin embargo, en la mayoría de los casos, los usuarios industriales no saben cómo analizar los datos generados, lo cual implica proporcionar apoyo adicional para el análisis de los datos y dar una respuesta a la pregunta de contenido científico del usuario.

Harry comentó que, si lo que se quiere es tener un instrumento que realmente le sirva a la industria en el esquema de prestación de servicios sincrotrón, habría que considerar alguna forma de apoyo para el análisis. Respecto de ello Harry describió algunas opciones:



Divulgación CNPEM

Mesa redonda acerca del proyecto Sirius el 6 de noviembre del 2015.

• Crear un grupo interno de apoyo en el que se establezca una alianza de largo plazo con la industria, en el que se clarifiquen los temas relacionados con la propiedad intelectual de los resultados.
• Proporcionar internamente servicios de análisis de resultados, en el caso de los usuarios industriales que sólo quieren obtener una respuesta concreta y no están interesados en alianzas de largo plazo (por ejemplo, la compañía de cosméticos L'Oreal puede estar interesada en desarrollar un nuevo shampoo y quiere saber cómo este producto es absorbido por el cabello).
• Permitir que compañías consultoras que conocen cómo opera el sincrotrón proporcionen servicios de análisis de resultados a los usuarios. Este tipo de compañía sería la liga entre el sincrotrón y la industria. En Francia hay una compañía llamada Noviton que realiza este tipo de trabajo. Esta es una opción que resultaría positiva tanto para el sincrotrón como para la compañía en cuestión. El consultor, interno o externo, tendría que organizar mesas de trabajo para atraer usuarios.
• Involucrar a la comunidad universitaria que tiene conocimientos sobre la materia para llevar a cabo esta consultoría de análisis de resultados. El sincrotrón podría contratar al consultor universitario por proyecto específico.

Harry agregó que se están analizando todas estas posibilidades. Hay usuarios entre los investigadores de organizaciones públicas que también enfrentan el problema de los análisis de resultados, pero este grupo no está en posibilidad de pagar por este servicio de consultoría. No se tiene ninguna conexión directa con universidades para proponer, por ejemplo, la inclusión de contenidos en cursos universitarios relacionados con el sincrotrón que permitan una ampliación en la base de usuarios que se tiene, en particular en áreas críticas para el país (agricultura y energía). Algunas técnicas del sincrotrón son muy versátiles y se pueden usar en todas las áreas de investigación.

El perfil Ceneval del usuario es el de un investigador joven que comienza su carrera académica en la universidad. Harry señaló que, aunque hay usuarios con más experiencia, éstos no representan a la mayoría de los demandantes de servicios. Para muchos jóvenes investigadores el sincrotrón es el único instrumento que les permite llevar a cabo investigaciones de punta, dado que no necesitan dinero para conducir experimentos en este aparato. Generalmente los nuevos usuarios conocieron el sincrotrón

a través de otros usuarios (efecto bola de nieve). Hay una gran proporción de mujeres entre los usuarios del sincrotrón, que alcanza casi el 50%. Los usuarios deben llenar una forma con fines de retroalimentación al equipo sincrotrón; esta información se usa internamente para mejorar los servicios, aunque no forma parte del contrato de servicios con el Gobierno.

DESAFÍOS

Roque expuso: "… el miedo más grande que tengo en relación con el proyecto Sirius es que, a diferencia del LNLS, que fue una gran empresa científica y una maravilla ingenieril, ahora estamos prometiendo que construiremos una máquina con tecnologías de frontera. La responsabilidad es muy grande y esperemos que funcione de acuerdo con lo planeado. Entregar lo que prometimos."

Roque añadió que el desafío en Brasil es mantener a la gente motivada en todos los niveles de Gobierno para que continúe el flujo de efectivo. Ricardo Rodrigues coincidió plenamente con este planteamiento, y agregó: "… porque le prometimos a la comunidad que le vamos a entregar un sincrotrón con ciertas características y en un cierto plazo, pero esto depende de nuestro flujo de efectivo. Esto es ahora nuestro problema más grande, garantizar el flujo de efectivo es mi miedo más grande. Esto merma la motivación del personal nacional, del extranjero, de los proveedores y de todo mundo".

En Brasilia la revisión externa de científicos juega un papel fundamental en este proceso presupuestal. Una opinión favorable del Comité Científico Internacional valida el progreso del proyecto, lo cual es un requisito para que se liberen los recursos a Sirius.

Divulgación CNPEM

LECCIONES APRENDIDAS

DESARROLLO DE SISTEMAS PARA MANEJAR RECURSOS HUMANOS ALTAMENTE CALIFICADOS

Es necesario desarrollar sistemas para el reclutamiento y manejo de personal altamente calificado: para Harry la administración de personal altamente calificado es uno de los desafíos más grandes en el proyecto Sirius. Es muy difícil encontrar a la persona idónea para trabajar en un sincrotrón. Es un perfil ecléctico que combina una mente científica, una visión ingenieril y un deseo de ensamblaje propio de un técnico. Se requiere de un perfil muy cercano a los científicos que trabajan para las universidades, aunque

Divulgación CNPEM

no exactamente el mismo. La persona que se busca tiene que ser joven y ambiciosa, y tener una fuerte conexión con instrumentos básicos y sofisticados, así como con la ciencia que se utiliza. Esta combinación de conocimientos y habilidades es muy difícil de encontrar en una sola persona.

El éxito del experimento depende de los siguientes factores:

- Identificar el fenómeno científico a estudiar.
- Definir buenas preguntas científicas.
- Definir los métodos y técnicas de captura de información.
  Identificar los instrumentos y detectores a utilizar.
- Tener la capacidad para interpretar los resultados de manera precisa.

Estos elementos son en realidad fases de un proceso segmentado que lo lleva a cabo una variedad de personas. Esta segmentación afecta la calidad de los resultados que arrojan los experimentos.

Todos estos elementos tienen que estar balanceados, porque muchas veces los investigadores se dejan llevar por el tipo de instrumentos que se están usando, en lugar de la ciencia que debe tener lugar en relación con el producto deseado. Se necesita la mentalidad y la curiosidad para abrir e inspeccionar un instrumento o un detector si es necesario. La falta de una máquina que no tiene la tecnología de punta no debe ser un problema para que se produzca buena ciencia, pero si la ciencia no es sólida no se obtendrán buenos resultados, aunque se tenga la tecnología de punta. Harry enfatizó que hay que preparar e invertir en buenos científicos si realmente se quiere aprovechar esta tecnología, capacitarlos en el extranjero y que adquieran experiencia en otros sincrotrones.

RECOMENDACIONES

En esta sección se incluye una serie de recomendaciones específicas, elaboradas por los ejecutivos del LNLS/Sirius en relación con el proyecto del Sincrotrón Mexicano:

1. *Incluir a varias Secretarías de Estado en el proyecto:* Cylon sugirió que un proyecto como el Sincrotrón en México debería involucrar al Ministerio de Ciencia o Tecnología (o su equivalente), así como al de Educación, para incluir programas académicos y becas relevantes para el proyecto. Es deseable también incluir a otros ministerios (secretarías), como el de Energía y el de Salud, cuyos investigadores se verán directamente beneficiados por este aparato. Elaborar una estrategia que conecte a una variedad de ministerios, con el objetivo de incrementar la probabilidad de atraer recursos financieros de diversas fuentes, lo cual requiere de la voluntad presidencial para hacerlo realidad. Los beneficios son muy extensos, lo cual se hizo evidente cuando Estados Unidos aprobó el programa nacional de nanotecnología, programa conectado directamente con el presidente, cuyas metas eran muy concretas. Lo ideal es que cada Ministerio participe indicando la manera cómo contribuir para alcanzar las metas establecidas (capacitar a la industria, a los estudiantes, a los académicos, etc.).

2. *Participación de los ejecutivos del Sincrotrón en tareas de difusión:* Cylon agregó que es importante que el coordinador del Sincrotrón o el director científico participen activamente en el circuito de pláticas para difundir las capacidades investigativas del sincrotrón usando, en la medida de lo posible, un lenguaje sencillo, no científico; el área de comunicación juega un papel vital en esta tarea.

3. *Considerar la compra de tecnología en el extranjero de los componentes más complejos:* Roque sugirió que en el caso de México era probable que se decidiera comprar esta tecnología totalmente en el extranjero, porque de lo contrario se requeriría de muchos años en desarrollar la capacidad técnica para construir estos aparatos en el país.

4. Capacitación de personal científico y técnico en el extranjero para desarrollar la capacidad interna de mantenimiento: Óscar propuso que si México decidiera no desarrollar su propia tecnología, necesitaría capacitar en el extranjero a ingenieros y técnicos en las áreas relevantes para proporcionar este tipo de mantenimiento correctivo y preventivo internamente. Un mínimo de infraestructura es importante. El modelo del Alba, en España, se acerca más al modelo que México podría seleccionar. México no necesita recorrer el mismo camino que Brasil, esto le tomaría mucho tiempo, lo cual no implica que en algún área específica México esté interesado en desarrollar tecnología propia e invertir en este campo (sistemas de control). Esto es un tema que México tendrá que explorar detenidamente.

5. Compromiso total del equipo Sincrotrón: en este tipo de proyectos es necesario que los responsables asuman un gran compromiso, que sean persistentes, tengan las metas claras y sean flexibles para responder a las condiciones cambiantes, así como aprovechar las oportunidades que se presentan en el mundo político.

6. Minimizar la intervención de las universidades en el Consejo Directivo de un Sincrotrón: Cylon comentó que es muy difícil para un profesor que tiene su laboratorio, donde es el amo del mundo, entender el concepto de un laboratorio manejado profesionalmente para servir a los intereses de una multitud de usuarios. La decisión sobre si un proyecto tiene o no acceso al sincrotrón debe ser tomada por un panel de científicos externos, y el director del laboratorio no se puede oponer a esta decisión. En un laboratorio típico de una universidad, si el profesor que lo maneja no simpatiza con el investigador o con el proyecto, es muy probable que el proyecto no proceda.

ANÁLISIS FODA

Este análisis se produjo en base a las experiencias recabadas por el equipo del LNLS y del Sirius:

FORTALEZAS (F)

1. Liderazgo científico y técnico.

2. Apoyo político a nivel ministerial y en el congreso.

3. Modelo jurídico específico:

(organizaciones sociales).

4. Evidencia de capacidad científica y tecnológica de primer mundo (LNLS y Sirius).

5. Impulso a la Industria local vía:

- Desarrollo de tecnología interna.
- Construcción de instalaciones locales.
- Compra de equipo en el país (LNLS).
- Capacidad para llevar a cabo mantenimiento correctivo y preventivo) (LNLS)

6. Estrategia nacional para el desarrollo de proveedores nacionales.

7. Capacidad científica y técnica para construir un Sincrotrón (LNLS).

8. Desarrollo de tecnologías de punta para la construcción de líneas experimentales competitivas (Sirius):

- Desarrollo de tecnologías innovadoras de construcción (Sirius).
- Extensa comunidad de usuarios (LNLS).
- Fuerte demanda de servicios Sincrotrón (sobre-demanda).

DEBILIDADES (D)

1. Falta de un presupuesto aprobado por el Congreso cubriendo la totalidad del proyecto (LNLS y Sirius).

2. Falta de la capacidad científica y técnica para construir un sincrotrón (orígenes del LNLS).

3. Falta de planeación para asegurar el suministro de electricidad de calidad a precios razonables.

4. Presión política para adquirir equipo de proveedores nacionales emanados de la estrategia nacional (Sirius).

5. Comunidad de usuarios con un perfil de sincrotrones de segunda generación (física, química) (LNLS).

6. Falta de estrategia para transferir el conocimiento acumulado en el LNLS a la Industria.

7. Falta de líneas de experimentación competitivas (LNLS).

8. Falta de una mayor participación de la Industria.

OPORTUNIDADES (O)

1. Líneas experimentales más competitivas a nivel internacional (Sirius) = mayor calidad de la investigación realizada.

2. Expansión de la comunidad de usuarios atrayendo perfiles científicos en áreas estratégicas para Brasil (agricultura, petróleo).

3. Consultoría para la construcción de otros sincrotrones.

4. Consultoría para el diseño experimental y el análisis de resultados.

AMENAZAS (A)

1. Inestabilidad económica en el país (LNLS y Sirius).

2. Flujo de efectivo.

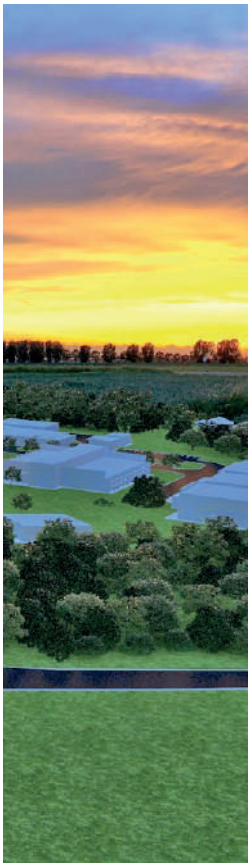
3. Sistema burocrático para adquirir.

4. Equipo en el extranjero.

5. Sistema burocrático para contratar.

6. Personal extranjero.

7. Transición de operaciones LNLS a Sirius.



CONCLUSIONES

La experiencia de éxito de Brasil es evidencia que un proyecto tan sofisticado como el sincrotrón, pese a todos los obstáculos enfrentados, puede convertirse en una realidad. Esta experiencia demostró que el LNLS en lugar de absorber todos los fondos disponibles de ciencia y tecnología en el país, logró que se incrementaran en todas las áreas de la ciencia. También demostró que la comunidad científica internacional de aceleradores es una hermandad que apoya incondicionalmente a otras comunidades. Con la construcción del LNLS, Brasil le demostró al mundo que está a la altura de las mejores potencias tecnológicas del mundo y que con la construcción del Sirius estará inclusive, por arriba de esas potencias.

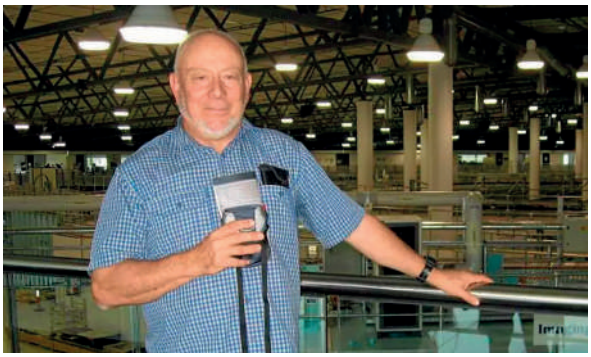
Evan Thomas

SINCROTRÓN AUSTRALIANO

ANTECEDENTES

El proceso de decisión para construir un sincrotrón en Australia siguió una ruta evolutiva y técnicamente más definida que la de los otros sincrotrones estudiados. El camino recorrido por los científicos australianos fue muy diferente a las experiencias del Alba y del LNLS brasileño. Los científicos australianos enfrentaron problemas propios tan fuertes en su estructura de gobierno y filosofía que ocasionó que casi cerraran sus puertas en 2012.

A diferencia de otros proyectos de sincrotrón, el liderazgo científico pasó por diferentes manos; el primer líder fue Stephen Wilkins y después el liderazgo pasó, en orden consecutivo, a Dudley Creagh, John Boldeman y Frank Larkins. El profesor Frank Larkins tenía excelentes relaciones políticas en el estado de Victoria y muy fuertes a nivel federal. El liderazgo político lo asumieron decididamente dos gobernadores laboristas del estado de Victoria, Steve Bracks y John Brumby, gobernaron consecutivamente de 1999 a 2010.



Stephen Wilkins

GÉNESIS

En 1984 Australia empezó las actividades que, veinte años más tarde, le llevarían a la construcción de un sincrotrón, esto de acuerdo con el profesor Dudley Creag, uno de los líderes científicos del Proyecto Sincrotrón Australiano. En ese año el grupo de usuarios australianos del sincrotrón consistía en un número reducido, pero influyente, de sólo ocho investigadores:

- Chris Howard (ANSTO).
- Frank Larkins (Universidad de Melbourne).
- Peter Colman, Jose Varghese, Mike Lawrence (CSIRO).
- Hans Freeman (Universidad de Sydney).
- Dudley Creagh – HASYLAB.
- Richard Garrett (empezó a trabajar en el Brookhaven National Laboratory en 1984).

Estos investigadores viajaban al extranjero regularmente (Japón y Estados Unidos) para llevar a cabo sus experimentos con la luz de radiación de sincrotrón. Este grupo de científicos se propuso inicialmente contar con una línea dedicada a la experimentación de los investigadores nacionales. Como primer paso, en 1987 se formó el Grupo Australiano de Usuarios de Haces de Luz para la Experimentación (ASBUG).

En 1985 se presentó una gran oportunidad para avanzar el proyecto, cuando Stephen Wilkins, uno de los nuevos miembros de ASBUG, se encontraba en Japón sosteniendo reuniones de trabajo con sus colegas japoneses durante una de sus estancias de investigación. En una de esas reuniones Wilkins recibió una invitación del profesor Chikawa para establecer una línea experimental en la fábrica japonesa de fotones (KEK). Esta iniciativa tuvo el apoyo de otro profesor japonés con gran influencia, Masami Ando, quien jugó un papel importante para que esta iniciativa fructificara.

Reunión de trabajo en abril de 1994 sobre radiación sincrotrón en la Australian Academy of Science en Canberra, Australia.

De pie: Dudley Creagh y Ted Maslen. Sentados: John Boldeman, Stephen Wilkins, Mitchell Guss, John White, Robert Leckie y Richard Garrett.

Los australianos tenían la oferta de la línea pero no el dinero para construirla. A su regreso, Wilkins solicitó apoyo financiero al Departamento de Industria y Comercio Australiano (DITAC) para construir esta línea. Dos años más tarde, un reporte para el primer ministro de Australia, titulado *Small Country Big Science,* recomendaba, con la más alta prioridad, aprobar el financiamiento por A$2.7 millones (dólares australianos) para construir la línea de experimentación en Japón. A Wilkins le tomó otros tres años de negociaciones para conseguir la aprobación final de estos fondos, lo cual logró en 1992, y la línea se empezó a construir meses más tarde.

En 1989, un reporte de la Academia Australiana de Ciencia (AAS) propuso la idea de construir una instalación de sincrotrón en Australia.

En 1995 se creó el Programa Australiano para la Investigación en Sincrotrón (ASRP), programa que recibió A$12.2 millones en cinco años, con el propósito de facilitar visitas científicas para conducir experimentos en los sincrotrones extranjeros. Esto aceleró de manera exponencial la expansión de la base de usuarios australianos de esta tecnología. En paralelo a la creación del ASRP, el senador Peter Cook, ministro de Ciencia y Tecnología, aprobó los fondos para llevar a cabo un estudio de viabilidad para el establecimiento de un sincrotrón en Australia. Este estudio técnico de viabilidad fue desarrollado por quien se convertiría en el líder científico del Proyecto Sincrotrón en Australia, el profesor John Boldeman.

El estudio técnico de viabilidad se presentó en 1997, en el cual se concluyó que la instalación de sincrotrón más apropiada debería tener:

- Una energía de 3 GeV.
- La capacidad de ser competitiva en su desempeño con otras instalaciones similares de tercera generación bajo construcción.
- Suficientes líneas de experimentación para satisfacer el 95% de la demanda de investigación de los 1200 usuarios de la comunidad científica en Australia.
- Un desempeño internacional competitivo para todas las necesidades de la industria en Australia.

Era claro, a finales de 1995, que los políticos de más alto nivel del país y la comunidad científica australiana estaban unidos para apoyar este proyecto; todas las entidades relacionadas con la ciencia y la tecnología demandaban la construcción de un sincrotrón en el país.

En 1999, el profesor Boldeman le entregó al Gobierno federal un documento técnico detallado, conocido como "La propuesta Boomerang, parte I-VII", que contenía la base técnica para identificar las características del futuro sincrotrón australiano.

En el mundo político a nivel estatal, la decisión de construir un sincrotrón empezó a formar parte de la plataforma política de ciencia e investigación en cada Gobierno. En una decisión que para muchos fue sorpresiva, el gobernador del estado de Victoria, Steve Bracks, anunció que, como parte de su estrategia de Ciencia, Tecnología e Innovación, el estado de Victoria invertiría A$637.6 millones para la construcción de varios megacentros de investigación, la inversión más ambiciosa de su tipo a nivel estatal en la historia de Australia. En este programa de inversión estaban incluidos fondos por A$59.2 millones para iniciar la construcción del primer sincrotrón en terrenos aledaños a la Universidad de Monash, área en la cual ya estaban operando varios centros de alta tecnología, a los cuales el Proyecto Sincrotrón se les sumaría para convertir la zona en un gran parque tecnológico.

De pie: John Boldeman, Steve Wilkins, Richard Garrett (no se tiene registro de la siguiente persona). Sentados: John White, David Cook y Dudley Creagh.

Australia cuenta con una gran participación en proyectos de megaciencia. Desde el año 2000 hay tres proyectos que sobresalen; el primero de ellos fue el reactor nuclear de "agua ligera", *Australia's Open Pool Australian Lightwater* (OPAL); el segundo es el sincrotrón; y el tercero es el proyecto SKA para construir cientos de radiotelescopios y telescopios en 1 km^2 en territorio australiano, neozelandés y sudafricano. El SKA cuenta con la participación de 20 países.

Tanto el proyecto OPAL como el sincrotrón fueron inaugurados en 2007. La decisión de construir el OPAL provino del Gobierno federal, y la decisión de construir el sincrotrón surgió del Gobierno estatal de Victoria a través de su gobernador John Brumby, quien explicó, en entrevista que concedió en abril de 2015, que el sincrotrón formaba parte crucial de la agenda de su gobierno para crear una "economía basada en el conocimiento", y que tanto él como su predecesor, el exgobernador de Victoria, Steve Bracks, compartían el punto de vista de que Victoria "tenía que actuar rápidamente para construir este megaproyecto en un ambiente en el cual competían con el Gobierno estatal de Queensland y con el de Canberra".

La decisión sorpresiva del Gobierno de Victoria para construir el sincrotrón tuvo algunas consecuencias indeseables, entre ellas el plantar la semilla de la discordia entre los diferentes grupos de interés a nivel político federal en relación con quién tendría que contribuir en un futuro para solventar los costos de modernización, operación y construcción de las líneas de experimentación; la inversión se estimaba entre A$200 y 400 millones.

Socios fundadores del Australian Synchrotron Consortium en la Universidad de Monash en noviembre del 2006.

Aunque la decisión de construir un sincrotrón fue recibida con beneplácito por la comunidad científica en general, en los círculos políticos y administrativos federales la decisión creó una gran tensión, ya que el Proyecto Sincrotrón forzaría a los órganos federales a contribuir con esta empresa sin que ellos ejercieran ningún control directo sobre ella. En otros lugares del mundo los sincrotrones son regularmente catalogados como laboratorios nacionales que, como tales, deben servir a la comunidad científica de todos los estados por igual; sin embargo, algunos estados en Australia vieron con suspicacia que el proyecto fuese controlado por una sola de estas entidades políticas estatales.

Como primer paso, en el año 2002 el equipo científico formó un Comité Científico Asesor (NSAC), integrado por usuarios australianos y neozelandeses con experiencia en el sincrotrón, y organizó otros dos comités asesores internacionales (el Comité Internacional Científico ISAC y el Comité Asesor Internacional de Máquinas IMAC), para guiar y apoyar el proceso de diseño y desarrollo del primer sincrotrón australiano.

La construcción del sincrotrón comenzó en 2003 y se estimó que tomaría cinco años terminar el proyecto (2008), pero tardó unos meses menos de lo planeado.

En 2005 se terminó la construcción del edificio. En julio de 2007, de acuerdo con lo programado, el gobernador de Victoria, John Brumby (quien era tesorero en la época del gobernador anterior, Steve Bracks) y el ministro federal de Educación, Ciencia y Capacitación, inauguraron el sincrotrón. El Gobierno de Victoria invirtió A$157 millones de un total de 221 millones en capital.

El sincrotrón inició sus operaciones con cinco líneas de experimentación, de las cuales tres estaban destinadas para el uso de expertos. Otras cuatro líneas estaban en construcción, y entrarían en operación en forma progresiva durante el 2008. La construcción del sincrotrón en el plazo y con el presupuesto establecido fue toda una hazaña, tanto científica como técnica y administrativa, aunque la mayoría del equipo fue adquirido en el extranjero.

El sincrotrón empezó a operar sin que sus autoridades definieran quién pagaría por la operación anual de esta instalación, ni por los gastos de modernización o construcción de líneas experimentales adicionales.

CRISIS EN EL SINCROTRÓN AUSTRALIANO

Sin embargo, no fueron los problemas técnicos los que provocaron que el proyecto enfrentara su primer desafío, sino un problema de gobernabilidad, seguido por otro de origen político financiero y más adelante por uno técnico.

La estructura de gobierno del sincrotrón demostró ser muy complicada, y era opuesta a las recomendaciones de los líderes del Alba y del LNLS brasileño, los cuales sostenían que no era aconsejable permitir que las universidades ni los gobiernos federal y estatal estuviesen representadas directamente como entidades en la administración del sincrotrón.

La estructura corporativa del Sincrotrón de Australia estaba formada por dos compañías que se establecieron en julio de 2007, que incluían representantes de los grupos que invirtieron en el proyecto. ASHCo, la primera de ellas, tenía la custodia de los bienes de capital; y ASCo, la segunda, estaba encargada de la operación del sincrotrón; en noviembre de 2007 el Gobierno de Victoria le concedió el control a estas dos compañías, ambas paraestatales. En total había 17 entidades públicas involucradas en la administración del sincrotrón, entre universidades, centros de investigación, la Agencia Nuclear Australiana (ANSTO), etc. Pero curiosamente nadie representaba directamente al Gobierno federal, que había invertido A$115 millones en esta instalación. Bajo este arreglo, la distribución del tiempo sincrotrón estaba directamente relacionada con las entidades fundadoras, creando así una organización con una visión comercial, no académica (mérito científico). Este modelo de distribución de tiempo sincrotrón creó una de las crisis más grandes que haya enfrentado el Sincrotrón Australiano. En menos de dos meses, el director del sincrotrón, la presidenta del Consejo y la mayoría de los miembros del Consejo Científico Internacional había renunciado. Los eventos que dieron lugar a esta crisis fueron los siguientes:

Robert Lamb.

· El 8 de noviembre de 2009 los periódicos australianos publicaron la noticia del despido del director del sincrotrón, profesor Robert Lamb, el 29 de octubre, con una violencia solamente vista en organizaciones comerciales con fuertes intereses económicos, como un banco o una compañía

bursátil. La presidenta del Consejo Directivo, Catherine Walter, acompañada por Rod Hill, uno de los miembros del Consejo Directivo, fue a la oficina del profesor Lamb para comunicarle que sus servicios ya no eran necesarios y que tenía unas horas para empacar sus pertenencias y salir del edificio. El profesor Lamb, eminencia científica en Australia, procedió a recoger sus cosas y fue escoltado hasta la salida del edificio por elementos de seguridad del sincrotrón. El profesor Lamb comentó que su despido, además de ser sorpresivo, no fue justificado, y no se le dio alguna razón por la acción tomada por la presidenta Walter.

· Durante los siguientes días empezaron las especulaciones sobre las razones de este despido, entre las que se encontraba que el Consejo Directivo estaba frustrado por la falta de capacidad del profesor Lamb para garantizar la aprobación del presupuesto federal de A$40 millones para que el Sincrotrón pudiese seguir operando después de 2012 hasta cuestiones filosóficas sobre cómo administrar una instalación como el sincrotrón. En suma, se produjo un enfrentamiento entre la cultura corporativa, representada por la directora Walter, y el mundo académico y científico representado por el profesor Lamb.

· Las nubes de este caos burocrático científico cayeron sobre el sincrotrón y las operaciones diarias se vieron afectadas. El 29 de noviembre de 2009 los periódicos publicaron que el profesor Frank Larkins (quien era miembro del primer grupo de usuarios del sincrotrón y quien asumió el liderazgo político científico del proyecto en Victoria) declaró que la situación era insostenible y demandaba que varios miembros del Consejo Directivo presentasen su renuncia (entre ellos la presidenta Walter). El profesor Larkins era el presidente del Grupo Asesor Científico del Sincrotrón. Este hecho desencadenó un enfrentamiento público entre los científicos y el Consejo Directivo. Por otra parte, se reportó que el ministro federal de Ciencia y Tecnología, Kim Carr, estaba "enfurecido por la situación" y planeaba asumir la administración del sincrotrón.

· El 6 de diciembre de 2009, siete de los científicos más renombrados del país le dieron un ultimátum a la directora Walter, amenazando con renunciar si ella no dimitía como presidenta de esa institución. La renuncia de los científicos detendría completamente todas las actividades del megaproyecto. El profesor Larkins advirtió que los científicos renunciarían en masa.

· Ese mismo día, 6 de diciembre, el profesor Lamb declaró que demandaría al Consejo Directivo por despido injustificado. La presidenta Walter declaró entonces que no podía hacer públicas las razones del despido por cuestiones "legales y de confidencialidad".

· Durante una reunión internacional, el grupo de directores de proyectos sincrotrón en el mundo, que se realizaba en China, declaró que el Sincrotrón de Australia estaba a un paso de desintegrarse como organización. Los directores le enviaron una carta al gobernador de Victoria, John Brumby, en la cual le solicitaban su intervención en la disputa, aclarando que el Comité de Asesores Científicos es la entidad más importante en

Mark Coulson

Gustav Nossal en la 5ª Conferencia Mundial de Periodistas Científicos.

un Proyecto Sincrotrón (apoyando con esta posición al profesor Larkins).

· El 11 de diciembre de 2009 renunció el profesor Larkins junto con otros tres miembros del Comité Científico Australiano de Asesoría (SAC). En total, cinco de los nueve miembros del Comité Asesor Internacional renunciaron por esta crisis.

· Para el 20 de diciembre de 2009 los tres gerentes ejecutivos habían renunciado.

· Se hizo un llamado para que el Premio Nobel, Gustav Nossal, interviniera en la disputa. Él conocía tanto a la presidenta Walker como al profesor Larkins y, aunque renuente a intervenir, aceptó participar para encontrar una solución a esta crisis. El Gobierno de Victoria apoyó a la directora Walker.

· Poco a poco la situación se empezó a calmar y comenzó entonces la batalla para asegurar el financiamiento del proyecto para el periodo 2012–2016. La directora Walter, apoyada por el Gobierno de Victoria, se mantuvo como presidenta del Consejo del Sincrotrón hasta noviembre de 2012.

El Sincrotrón Australiano sobrevivió a esta crisis para caer luego en otra, que los chinos describirían como "la muerte de las mil cortadas", crisis generada por la falta de financiamiento para mantener en operación el sincrotrón después de 2012. El 28 de febrero de 2011, el profesor Keith Nugent es nombrado director, cuya tarea principal fue asegurar el futuro financiamiento. El proyecto se mantuvo en un limbo de incertidumbre financiera durante casi 14 meses. El 26 de septiembre de 2011, en los periódicos de Australia se publicó que ante la incertidumbre de financiamiento, muchos científicos australianos estarían por desertar.

Por fin, las buenas noticias llegan el 28 de marzo de 2012. El Sincrotrón Australiano aseguró fondos de operación por A$95 millones, 69 millones provenientes del Gobierno federal y 26 millones del Gobierno de Victoria. Pero el financiamiento federal no fue gratuito, ya que impuso varias condiciones para el sincrotrón; la primera fue una reducción de 10% del personal, la segunda fue la absorción por la Organización Nuclear de Ciencia y Tecnología ANSTO (que tenía un papel menor en la administración anterior), y la tercera fue una nueva estructura de gobierno.

El 21 de agosto de 2012, el profesor Nugent anunció su renuncia para hacerla coincidir con los recortes de personal y la absorción del Sincrotrón Australiano por ANSTO.

La crisis técnica se dió en 2012 cuando se identificó que el Sincrotrón tenía problemas para mantener la estabilidad en los haces de luz en algunas situaciones. Esto se resolvió técnicamente en 2013, pero el problema resaltó la deficiencia de tecnología en Australia para identificar y resolver un problema de operación con carácter científico, como consecuencia de la estrategia de adquirir toda la tecnología en el extranjero.

Elizabeth Henson.

Ministro de Industria, Innovacion y Ciencia, Christopher Pyne

La absorción del sincrotrón por ANSTO cambió la relación de poder entre el Gobierno federal y el Gobierno estatal de Victoria, convirtiendolo en un verdadero laboratorio nacional, asegurando su financiamiento de operación futuro. De hecho el cambio permitió que el Gobierno del estado de Nueva Gales del Sur (NWS) contribuyera económicamente para la construcción de más líneas experimentales.

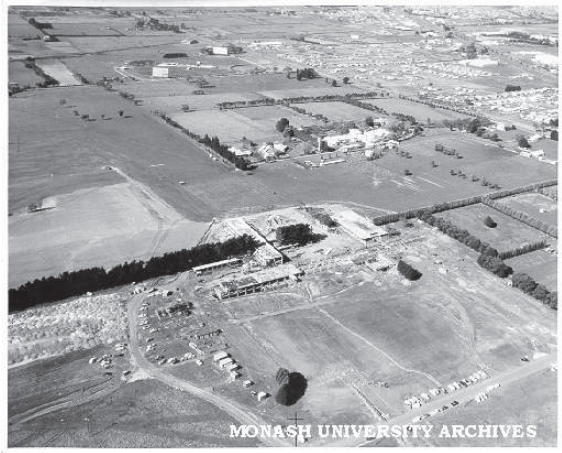
El 1 de enero de 2013 ANSTO tomó el control operacional del Sincrotrón a través de la compañía *Synchrotron Light Source Australia Pty Ltd* (SLSA), entidad que tiene la exclusividad para operar, administrar y desarrollar los bienes de capital bajo un Contrato de Servicios de Operación (OSA) con la compañía original ASHCo. La compañía se estableció sin fines de lucro, y como tal está exenta de pagar impuestos por los ingresos.

Se definió también un nuevo método para distribuir el tiempo sincrotrón entre los inversionistas, conocido como *Juste Retour System,* basado en la proporción de las contribuciones financieras, y siguiendo una selección de proyectos de investigación por mérito científico (no se asignó tiempo fijo por inversionista ya que esto hubiera ido en contra del principio de *mé*rito científico). El modelo reservaba el 20% del tiempo para proyectos industriales.

El 20 de noviembre de 2013 se nombró al doctor Andrew Peele como nuevo director del Sincrotrón Australiano, y con este nombramiento regresó la calma operativa después de tres años de turbulencia. Por su parte, la inestabilidad financiera también llegó a su fin en diciembre de 2015, cuando el entonces ministro de Industria, Innovación y Ciencia, Christopher Pyne, anunció la aprobación de A$520 millones en el presupuesto para garantizar la operación del proyecto por un periodo de 10 años. En marzo de 2016, el ministro Payne anunció la absorción total del Sincrotrón por la agencia federal ANSTO, desapareciendo por completo el poco control que todavía tenían el Gobierno estatal y las entidades educativas de Victoria.

SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL SINCROTRÓN AUSTRALIANO

La selección del sitio para construir el sincrotrón se dio casi por *default*, ya que había solamente un área lo suficientemente grande, cercana a un parque tecnológico en Melbourne y a una de las universidades más grandes del estado, la de Monash, que eran los terrenos ubicados en la colonia de Clayton; las características del terreno no fueron consideradas como requisito en la elección del lugar para la construcción. El sincrotrón está localizado a 30 km del Aeropuerto Internacional de Melbourne.



ALIANZAS CON OTROS PROYECTOS SINCROTRÓN

El equipo científico del proyecto tenía fuertes conexiones con el Sincrotrón KEK en Japón y con el Laboratorio Nacional de Brookhaven, y en general había buenas relaciones con la mayoría de los miembros de la comunidad de sincrotrones en el mundo.

ACCESO A LAS LÍNEAS EXPERIMENTALES EXTRANJERAS

Desde 1993 los científicos australianos tuvieron acceso a la línea experimental (BL20B) localizada en la fábrica de fotones KEK en Japón, pero también tenían la posibilidad de llevar a cabo investigaciones en otros sincrotrones. Desde 1992 hasta 2008, el Programa Australiano para la Investigación en Sincrotrones (ASRP) permitió que los científicos nacionales tuviesen acceso a utilizar 4000 días de tiempo sincrotrón en Estados Unidos, Japón y Taiwán; el programa ASRP estaba administrado por ANSTO. En Estados Unidos los científicos australianos tenían acceso a la Fuente Avanzada de Fotones (APS), en el Laboratorio Nacional de Argonne. De 30 grupos experimentales activos en 1997 se incrementó a 180 en 2007; en total el ASRP financió 1400 experimentos y recibió más de 3000 visitas de científicos. Con el inicio de operaciones del sincrotrón, el ASRP fue disuelto en septiembre de 2008.

COMUNICACIÓN, REDES SOCIALES E INTERNET

El Sincrotrón Australiano tiene cuentas de website, Twitter y Facebook, y desarrolla una publicación en línea. Antes de 2014 organizaba un "Día Abierto", el cual fue cancelado en 2014 por razones presupuestarias, y hubo planes para reanudarlo en 2015. El sincrotrón organiza visitas para universidades y escuelas.

EL SINCROTRÓN COMO MAGNETO PARA ATRAER A OTROS CENTROS DE INVESTIGACIÓN, INDUSTRIAS Y SERVICIOS DE PUNTA

El sincrotrón forma parte del Precinto Tecnológico de Monash, que incluye las siguientes instalaciones para la investigación científica:

- CSIRO Australia.
- Universidad de Monash.
- Monash Science & Technology Park.
- Monash Medical Centre.
- Centro de Melbourne de Nanofabricación.

DECIDIENDO QUÉ TIPO DE SINCROTRÓN CONSTRUIR

El profesor John Boldeman, considerado el arquitecto científico del proyecto de Australia, escribió una serie de reportes, conocidos como *Boomerang Report*, donde desarrolló el concepto científico y técnico del sincrotrón.

Cuando se escribieron estos artículos, las especificaciones técnicas del sincrotrón australiano eran de frontera. En esos reportes se establece que el proyecto debería tener 3GeV de potencia y una emitancia de menos de 12nm; finalmente, el sincrotrón tiene 216 metros de circunferencia y redujo la emitancia a 10 nm (el nuevo sincrotrón brasileño, Sirius, buscó reducir la emitancia a 0.28nm.rad).

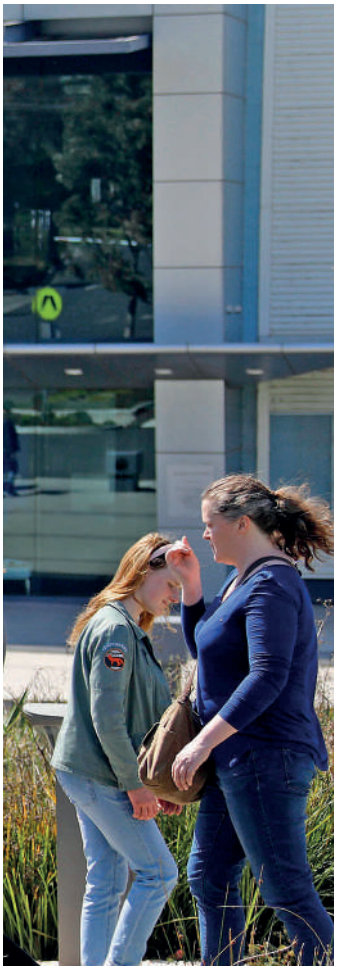
Australian Synchrotron Light Source – (Boomerang)

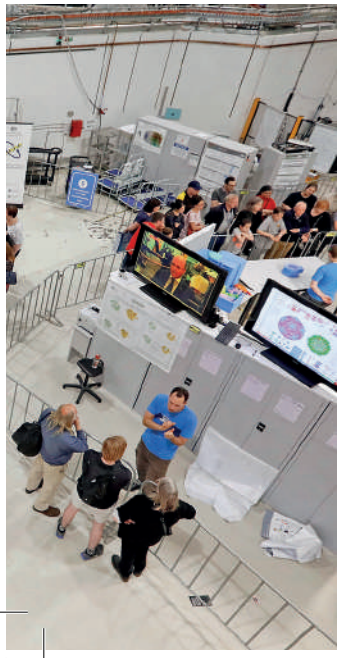
PROFESSOR JOHN BOLDEMAN,
Centre for Synchrotron Science, University of Queensland,
Queensland 4072, Australia, (Senior Advisor to the
Victorian Government)

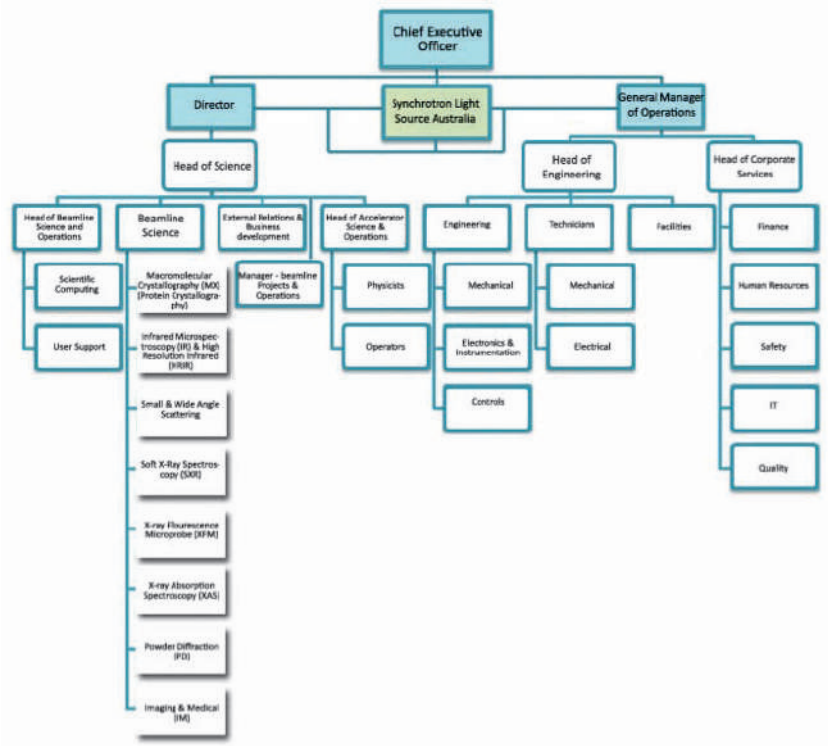
SUMMARY The Australian National Synchrotron Light Source – (Boomerang) is to be installed at the Monash University in Victoria. This report provides some background to the proposed facility and discusses aspects of a prospective design. This design is a refinement of the design concept presented to the SRI –2000, Berlin (Boldeman, Einfeld et al), to the meeting of the 4th Asian Forum and the Preliminary Design Study presented to the Australian Synchrotron Research Program.

FORMACIÓN DE USUARIOS

El sincrotrón contó, en 2016, con 5500 usuarios registrados, y cada año organiza reuniones con éstos; la última de ellas tuvo lugar del 22 al 24 de noviembre de 2017, en un foro conocido como *ANSTO User's Meeting*. Antes de las reuniones se organiza un simposio para nuevos investigadores interesados en la luz de sincrotrón. En el periodo 2015 a 2016 hubo 5700 visitas de usuarios, y desde 2007 hasta junio de 2016 se han llevado a cabo 24 000 experimentos en esta instalación científica.







LIGAS SINCROTRÓN–INDUSTRIA

Históricamente el 10% de las investigaciones están ligadas a la industria. En el periodo de 2015 a 2016, entre el 15 y el 20% de los investigadores tenían ligas directas o indirectas con la industria. El Sincrotrón Australiano formó un equipo de apoyo científico y técnico exclusivo para este sector.

ESTRUCTURA DE PERSONAL

El sincrotrón tiene 130 trabajadores. El presupuesto anual de operación es de A$32 millones, de los cuales el 54% se orienta al pago de salarios y consultorías. La estructura organizacional interna sigue los estándares internacionales; tiene un director y tres áreas, una de ciencia, una de ingeniería y una de servicios corporativos.

LÍNEAS DE EXPERIMENTACIÓN

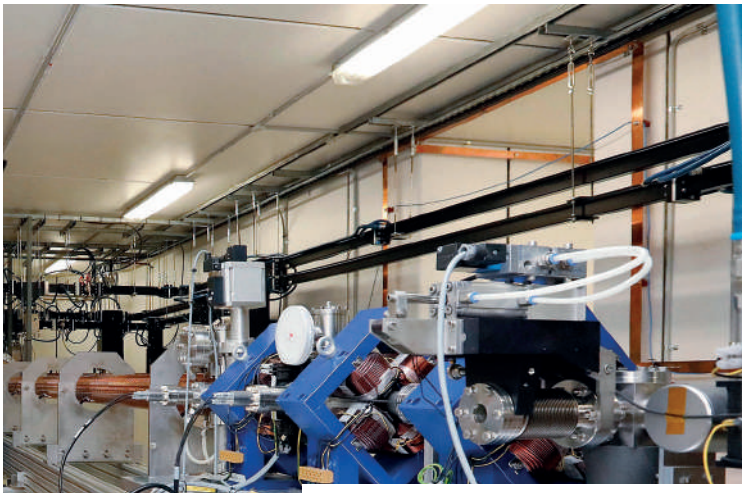
El sincrotrón australiano se ha mantenido con 10 líneas de experimentación, de 38 líneas que podría tener potencialmente, de tal manera que está muy subutilizado. Sin embargo, en 2016 se anunció también el plan *Bright: New beamlines for the Australian Synchrotron,* que busca la aprobación de A$100 millones en inversión de capital para la construcción de siete líneas de experimentación adicionales.

LECCIONES APRENDIDAS

El diseño y la construcción del proyecto se llevaron a cabo de acuerdo con el calendario de actividades y presupuesto aprobado. Los problemas que enfrentaron las autoridades del Sincrotrón no fueron de origen técnico sino político, lo cual realza la importancia de definir este megaproyecto como una instalación científica de interés nacional y como un proyecto de Estado.

IMPACTO ECONÓMICO

Las autoridades del Sincrotrón Australiano han tratado de incluir sistemáticamente información sobre el impacto económico potencial que generan sus investigaciones aplicadas. Ello los ha llevado a desarrollar indicadores considerados como la mejor práctica a nivel mundial para la medición del éxito comercial de empresas científicas de este tipo.



Andy Mabbett.

Keith Nugent.

RECOMENDACIONES

El doctor Keith Nugent especificó lo siguiente para el proyecto Sincrotrón México:

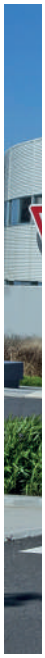
• Certidumbre financiera: asegurar que el financiamiento para operar el sincrotrón sea claro para las partes contribuyentes, y que proporcione la estabilidad y certidumbre necesarias para que los servicios del sincrotrón operen en forma ininterrumpida.

Brian Schmidt y Andrew Peele en entrevista radial:

• El proyecto requiere de un plan estrategico. El Sincrotrón Australiano nació de una decisión tomada por políticos, sin un plan estrategico. Básicamente los entrevistados comentaron: "nos concentramos en la construcción, sin pensar mucho en lo que pasaría después".

• Subutilización del sincrotrón (9 líneas iniciales, 10 en operación y 38 potenciales).

Desde que entró en operación con nueve líneas de experimentación, ninguna línea adicional ha sido planeada (la décima entró en operación en 2015). Brian Schmidt planteó que no se contaba con línea experimental para ciencias geológicas, y que al tenerla se beneficiaría enormemente al sector minero. Si se tiene en cuenta que se exporta más de 1 billón de A$ al año en equipo minero, se tendría que haber considerado este tipo de información para diseñar una línea de experimentación que sirviese a ese mercado. Esto ha provocado que se siga enviando científicos al extranjero para realizar experimentos, porque no se ha desarrollado la capacidad en el sincrotrón propio para hacer estos experimentos. Esto es un gran desperdicio.



ANÁLISIS FODA

Este análisis se hizo con base en las experiencias recabadas por el equipo de Australia:

FORTALEZAS (F)

1. Liderazgo científico y técnico (varias personas).

2. Liderazgo político (dos gobernadores estatales de Victoria).

3. Apoyo político a nivel ministerial (estatal y federal).

4. Presupuesto total aprobado para la construcción del sincrotrón y de las primeras nueve líneas de experimentación.

5. Gran capacidad logística y gerencial para diseñar el sincrotrón, y construirlo en los plazos fijados y con el presupuesto asignado.

6. Capacidad científica y técnica para diseñar un sincrotrón.

7. Construcción de una línea experimental en Japón KEK para capacitar a técnicos y usuarios (BL20B).

8. Programa de capacitación para usuarios en sincrotrones extranjeros.

9. Fuerte demanda de servicios sincrotrón (sobredemanda).

10. Fuerte participación de la industria.

11. Indicadores de desempeño por arriba de los observados en sincrotrones equivalentes.

DEBILIDADES (D)

1. Falta de un plan estratégico de desarrollo.

2. Falta de financiamiento seguro de mediano plazo.

3. Marco jurídico complejo.

4. Estructura de Gobierno compleja.

5. Metodología para la asignación de tiempo sincrotrón.

6. Capacidad limitada para hacer mantenimiento correctivo internamente.

7. Conflicto potencial entre la cultura corporativa y la científica.

OPORTUNIDADES (O)

1, Expansión potencial de líneas experimentales competitivas a nivel internacional.

2. Utilización de la reputación académica y científica para ofrecer servicios a nivel internacional (dada la gran calidad y cantidad de las investigaciones realizadas).

AMENAZAS (A)

1. Falta de presupuesto para construir más líneas de experimentación.

2. Conflicto interno entre los fundadores del sincrotrón y quienes contribuyeron a su financiamiento.

CONCLUSIONES

El Sincrotrón Australiano nació con cuatro grandes problemas de origen:

El primero es que no fue producto de una negociación entre los diferentes órganos de Gobierno; es decir, entre el Gobierno federal y el Gobierno estatal de Victoria. La decisión súbita del Gobierno de Victoria de financiar el sincrotrón no permitió la formulación de un plan estratégico que incluyera la participación de la federación en la toma de decisiones. La federación contribuyó, pero al principio no ejerció ningún control, lo cual trajo como consecuencia que no se firmaran acuerdos de largo plazo entre la federación y el estado de Victoria que garantizaran el financiamiento necesario para solventar los gastos anuales de operación.

El segundo problema se creó con la idea de que el sincrotrón operaría como una empresa privada, donde las prioridades estarían dictadas por los imperativos comerciales y no por el mérito científico de la investigación en turno. Un laboratorio de carácter nacional no se puede regir por un modelo comercial.

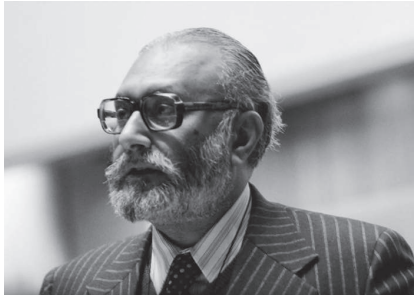
El tercero fue que se permitió que la distribución del tiempo sincrotrón estuviera determinada por los inversionistas fundadores y no que fuese repartido con base en el mérito científico de los proyectos de investigación. Esto obligó a tener que negociar con multitud de intereses que no aportaban incentivos para que los inversionistas incrementaran sus contribuciones económicas.

El cuarto fue que nunca se definió con claridad la cantidad de capital que se requería para continuar construyendo las líneas de experimentación faltantes. El sincrotrón tiene la capacidad para operar 38 líneas de experimentación, de las cuales sólo operaban 10; es decir, se trataba de una megainfraestructura muy subutilizada, lo que hizo que muchos científicos australianos continuaran viajando al extranjero para satisfacer sus necesidades de investigación. La construcción de otras 28 líneas de experimentación requeriría de un capital adicional de entre A$200 y 400 millones, y gastos de operación adicionales entre A$20 y 25 millones al año. Conseguir esta cantidad de dinero sin el apoyo federal representaba un gran desafío para las autoridades del sincrotrón.

Todos estos problemas casi destruyeron esta megaempresa científica que, sin embargo, ha sobrevivido para convertirse en una de las mejores empresas científicas de su tipo en el mundo.

SINCROTRÓN SESAME

Sergio Fubini, Volker Sorgel y Italo Mannelli en las oficinas del CERN.



Abdus Salam

ANTECEDENTES

El proyecto SESAME fue concebido originalmente en la década de los años 80 gracias al impulso de científicos de gran renombre en el Medio Oriente, como el Premio Nobel pakistaní, Abdus Salam. El proyecto también contó con el apoyo del CERN (Organización Europea para la Investigación) y del MESC (Cooperación Científica en el Medio Oriente), encabezado por Sergio Fubini. La UNESCO apoyó decididamente este proyecto desde 1999 como parte de su filosofía de "Ciencia para la Paz". El SESAME inició su construcción en el año 2003.

El proyecto tiene dos objetivos, uno público, de carácter científico, que es impulsar la ciencia y la tecnología en el Medio Oriente; y otro político, que se maneja de manera más discreta, que es incrementar la cooperación entre los países de la región que han estado divididos políticamente por largo tiempo. En el SESAME participan científicos de Jordania, Chipre, Israel, Egipto, Autoridad Palestina, Turquía, Irán y Pakistán. El Consejo Consultivo está constituido por Francia, Alemania, Grecia, Italia, Japón, Kuwait, Suecia, Inglaterra y Rusia, como países observadores.

JSPS Workshop.

Primera reunión de usuarios del SESAME el 27 de octubre del 2002.

El SESAME es, sin duda, el proyecto de cooperación científica más ambicioso en la historia del mundo moderno, no sólo por su carácter técnico, sino también por su alta complejidad política. Mantener el Consejo Directivo funcionando adecuadamente, al mismo tiempo que los países miembros de ese Consejo están, en el mejor de los casos en conflicto político y en el peor de los casos en un conflicto armado, es realmente extraordinario. Es importante mencionar que el proyecto ha tenido el apoyo incondicional del rey de Jordania, Abdullah II, y de más de 10 países y organizaciones internacionales; entre los países se encuentran la Comunidad Europea, Estados Unidos y Rusia, y entre las organizaciones están la UNESCO, la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) y el Centro Internacional Abdus Salam de Física Teórica (ICTP), entre otras.

PRESUPUESTO

La inversión inicial para el arranque del proyecto se estimó en US$110 millones, inversión que incluía los costos relacionados con el edificio, que fue financiado por el Gobierno Jordano.

El proyecto SESAME se aprobó atendiendo principalmente a los argumentos científicos y políticos, aunque no hubo, como tal,

estudios financieros o un interés de negocios para sustentar su construcción. En este sentido, los miembros del SESAME tuvieron que contribuir financieramente para su construcción y su posterior operación, de acuerdo con una fórmula determinada para cada país. Los países con mayor capacidad económica tienden a contribuir con fondos mayores al proyecto y se lleva un registro de la cantidad de dinero que cada país aporta anualmente. Si un país desea retirarse del proyecto debe avisar al Consejo con un año de anticipación, pero si se retira pierde todo lo que haya invertido. El gasto de capital se maneja de la misma manera.

Adicional a estos fondos se contó con la ayuda económica de Europa, que contribuyó con alrededor de 5 M€ en efectivo, y en especie a través de la donación de equipo. En mayo de 2014 (fecha de la entrevista) se estimó que se requerían todavía 28.5 M€ adicionales para terminar el proyecto. Una vez terminado, el costo de operación de cuatro líneas de experimentación, que operarían las 24 horas del día, los siete días de la semana, se calculó entre 4 y 6.5 M€ al año, de los cuales la mitad sería destinado al pago de electricidad. A finales de 2017 había dos líneas de experimentación operando, la XAFS/XRF y la IR. Se espera que la tercera, la MS, entre en operación a mediados de 2018, y la cuarta línea, la MX, a finales de 2019.

SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL SINCROTRÓN

En la tercera reunión del Consejo Interino, en 1999, se escogió a Jordania como el país que hospedaría el sincrotrón del Medio Oriente (de entre 18 candidatos). El SESAME está ubicado en un terreno donado por el Gobierno Jordano, a 23 kilómetros al noroeste de la capital, Amman, en la vecindad de la Universidad Al Baqa. Las características geológicas del suelo no jugaron un papel crucial en esta decisión.

OPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN LOCAL

El Dr. Yasser Khalil comentó que parte de la población local se opuso al proyecto SESAME porque pensaban que la radiación del sincrotrón les podría dar cáncer. Todavía en 2017 algunos líderes locales no se refieren al sincrotrón solamente como un acelerador, sino que se refieren a él como un acelerador nuclear, dando con ello la impresión de que los riesgos de su operación son similares a los de una planta nuclear. Khalil comentó que como estrategia para contrarrestar estos rumores organizaron muchas reuniones con la población local, y "llegamos incluso a invitar a ciertos líderes locales a Europa para que vieran que el sincrotrón era una instalación segura y que no dañaría la salud de las personas que viven en sus alrededores".

Khalil reconoció que al principio hubo grandes fallas en la comunicación con la población local y en 2011 se empezó un programa con la comunidad la cual esperaba no solamente sentirse segura, sino también recibir algunos beneficios económicos

directos para su familia; entre ellos, empleos para sus hijos. Khalil indicó que "hasta el momento se han contratado por lo menos a seis personas del pueblo más cercano, que representó el 15% de los 40 trabajadores en el SESAME; no fue posible contratar a más personas porque la mayoría eran agricultores sin habilidades técnicas.

En la medida de lo posible, durante la construcción del edificio también se contrataron servicios de personal local, como electricistas, plomeros, técnicos en aire acondicionado, etc". En resumen, la estrategia de comunicación que se implementó con la comunidad fue la siguiente:

- Hacer sentir a la población local que el SESAME era una instalación científica segura.

• Darle beneficios económicos a la población a través de oportunidades de empleo.
• Integrar al personal del SESAME con la comunidad en las celebraciones tradicionales y comunitarias.

Paolucci agregó que esta reacción de la población local es un problema común, observado también durante el desarrollo de otros proyectos, como el Soleil en Francia o el Elettra en Italia. Un aspecto contrastante con la experiencia recabada de otros sincrotrones en el mundo, fue que el SESAME no tuvo mucha oposición de la comunidad científica, en particular porque en el Medio Oriente hay una gran demanda de los servicios que puede proporcionar el sincrotrón en países como Turquía, Jordania, Irán, Israel, etc. Además de que el proyecto está respaldado por científicos de gran prestigio internacional, Khalil comentó que "por supuesto que algunos usuarios cuestionaron la necesidad del SESAME, ya que opinaban que podían ir a otras instalaciones de este tipo en Europa. Estos usuarios no consideraron que esta clase de instalación fomentaría el crecimiento de una gran base de usuarios especializados en disciplinas diferentes que nunca tendrían acceso a este instrumento en Europa".

También hay otros países en el área, como Egipto, que están construyendo centros de investigación en forma paralela con el SESAME, los cuales serán alimentados fundamentalmente por las investigaciones que se llevarán a cabo en el sincrotrón. De momento hay tres miembros del SESAME que están considerando construir sus propios sincrotrones: Turquía, Irán y Pakistán, los cuales podrían usar el SESAME para capacitar a los operadores y usuarios de sus futuros sincrotrones.

MODELO JURÍDICO

La estructura de Gobierno del SESAME se rige bajo los Estatutos del Centro Internacional de la Luz de Sincrotrón para ciencias experimentales y aplicaciones en el Medio Oriente (SESAME), aprobados el 15 de abril de 2004 (http://www.sesame.org.jo/sesame/about-us/governing-document.html).

En su artículo tercero los estatutos describen la estructura y responsabilidades del Consejo de Administración:

1. El Centro deberá ser administrado por un Consejo compuesto por:
• No más de dos delegados por cada uno de los miembros, nombrados por el propio miembro.
• No más de dos delegados por cada uno de los observadores, nombrados por el propio observador.
• Un representante del director general de la UNESCO.

Cada uno de los miembros de SESAME y el representante del director general de la UNESCO tendrán un voto; los observadores no votarán.

2. El Consejo elegirá a su propio presidente.

3. El Consejo tendrá todos los poderes requeridos para la administración y operación del Centro; aprobará los programas y presupuestos por una mayoría de dos tercios; examinará el reporte anual que le presentará el director del Centro, tal como está previsto en el Artículo VI de este documento (aprobado el 15 de abril de 2004) y le instruirá con las directivas que considere convenientes; y aprobará todos los reglamentos financieros y de personal del Centro.

4. El Consejo se reunirá en sesión ordinaria al menos una vez al año, y en sesiones extraordinarias en respuesta a la convocatoria del presidente, ya sea por iniciativa propia o del director general de la UNESCO o a petición de un tercio de los miembros.

Estos estatutos fueron aprobados por todos los miembros y son un ejemplo de cómo construir un proceso democrático, dentro de una instalación científica de gran magnitud, entre socios cientificos provenientes de países con una larga historia de conflictos entre ellos.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El edificio fue financiado, diseñado y construido por arquitectos e ingenieros jordanos de la Universidad AL Baqa (contigua al SESAME), con el apoyo de los expertos del Comité Científico Internacional. Este proyecto tenía una gran desafío que enfrentar, ya que sería el producto ecléctico de una serie de donaciones de equipo que en algunas instancias ya estaba obsoleto y/o no eran compatibles. Entre los países que donaron equipo se encuentran Alemania, Francia, Suiza, el Reino Unido, Estados Unidos e Italia. Además de esto, el equipo técnico internacional quería modernizar el sincrotrón para que respondiera a las necesidades de investigación del siglo XXI.

En octubre de 1999 el equipo técnico elaboró el "libro verde", en el que se proponía modernizar el sincrotrón Bessy 1, donado por Alemania, para que su anillo de almacenamiento original pasara de una circunferencia de 64 metros a una de 100 metros,

con una potencia de 1 GeV (Giga electrón Voltio). Para los científicos era obvio que estas características técnicas no iban a producir un sincrotrón competitivo. El 2 de julio del 2002 se publicó el "libro blanco", que contenía las especificaciones técnicas para construir un sincrotrón más competitivo, con 2 GeV de potencia, una circunferencia de 124 metros y una emisión de 28 nm, lo cual representaba una mejoría técnica enorme pero todavía estaba lejos de ser competitivo. Unos meses más tarde, en mayo de 2003, los equipos científico y técnico propusieron nuevas mejoras al proyecto. En el "libro amarillo" se propone construir SESAME, con un poder de 2.5 GeV, potencia más consistente con un sincrotrón de tercera generación y mucho más competitivo a nivel científico. Desde 2003 se ha hecho una serie de mejoramientos técnicos que han permitido reducir la emitancia a 26nm.rad y el anillo de almacenamiento se incremento a una circunferencia de 133.2 metros.

SESAME recibe el suministro de electricidad de la red de distribución local. El problema con el suministro de electricidad experimentado por el LNLS brasileño es también una amenaza potencial para el SESAME, ya que tampoco dispondrá de una subestación eléctrica dedicada al proyecto, sólo cuatro transformadores de voltaje. En el área en que se localiza SESAME hay solamente un proveedor de electricidad, y aunque se espera que el proyecto tenga prioridad para recibir el suministro de electricidad sobre otros usuarios está la amenaza de no conseguir un suministro estable de electricidad a precios razonables. Las microinterrupciones pueden tener un gran efecto en el sincrotrón, por lo que hay que tener varias fuentes de electricidad para asegurar la continuidad en el suministro. En mayo de 2017 el Gobierno Jordano ofreció invertir 7 millones de dólares para construir una planta de energía solar para suministrar al sincrotrón de energía renovable.

El SESAME tiene la capacidad para albergar 25 líneas de experimentación, con una longitud que varía entre 21 y 36.7 metros de largo. Según lo programado, se espera iniciar con cuatro líneas en operación (MS, XRF, IR y MX), las cuales permitirán realizar investigaciones en biología molecular estructural, arqueología y herencia cultural y aplicaciones médicas, entre otras. La selección de las líneas de experimentación de SESAME fue el resultado de doce reuniones con la comunidad de usuarios, de las características propias del SESAME, y de la capacidad y voluntad de otros sincrotrones para contribuir a su construcción por la vía de la donación.

El equipo científico de SESAME se ha propuesto construir líneas de experimentación que puedan proporcionar servicios a la mayor cantidad de investigadores multidisciplinarios del Medio Oriente. La primera línea será de rayos infrarrojos (EMIRA), que permitirá hacer experimentos de espectroscopía y micro espectroscopía. Otras tres líneas se construyeron para recibir equipo donado por diferentes laboratorios, como Absorción de Rayos X/ Fluorescentes –ESRF; Polvo –Difracción SLS, y la más conocida y ampliamente utilizada, la de cristalografía de proteínas por Daresbury.

FORMACIÓN DE USUARIOS

SESAME ha organizado reuniones anuales (y en algunos casos bianuales) de usuarios desde octubre de 2002 a la fecha. La décimocuarta reunión de usuarios tuvo lugar en Amman los días 3 y 4 de diciembre de 2017 con la participacion de 100 científicos, siguiendo la práctica aceptada internacionalmente de formar un comité colegiado de expertos de diferentes países para discutir, evaluar y seleccionar los proyectos de investigación que tendrán lugar en el sincrotrón.

Richard Blaustein

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

El SESAME tiene tres directores: científico, técnico y administrativo. Los salarios son comparables con los de Europa y más altos que en otras organizaciones científicas de su tipo en la región, por lo que se piensa que podrán reclutar y mantener a trabajadores de buen nivel. A finales de 2017 había 40 empleados (la plantilla total será de 77 personas), cuatro directores, nueve personas en el equipo administrativo, nueve en el equipo científico y 18 en el equipo técnico para mantener el sincrotrón y operar cuatro líneas de experimentación.

SEGUROS

No se tiene contemplada la contratación de seguros contra accidentes, robo o desastres naturales. Si ocurriera un incidente de esta naturaleza, los miembros se reunirán y contribuirán con las reparaciones. Por ejemplo, el 14 de diciembre de 2013 el techo del SESAME se derrumbó por una cantidad inusitada de nieve que cayó en la región; por fortuna el equipo no se dañó; Jordania pagó una tercera parte de las reparaciones y el contratista los otros dos tercios, porque, afortunadamente, el edificio estaba bajo garantía; si esto hubiese ocurrido en 2016, la garantía hubiese expirado y el proyecto podría haber dejado de ser viable.

SESAME

El Rey Abdullah II develando la placa de inauguración.

PRIMERA LUZ DE SINCROTRÓN GENERADA EN EL SESAME

El 22 de noviembre de 2017, a las 10:50 de la mañana, los científicos del SESAME generaron la primera luz monocromática a través de la línea XAFS/XRF, dando con ello comienzo al programa experimental de este megaproyecto en el Medio Oriente. Esta línea experimental permitirá conducir experimentos en diferentes áreas, desde estado sólido hasta ciencias de medio ambiente y arqueología.

SESAME

Análisis de la primera fuente de luz.

DESAFÍOS ÚNICOS DEL SESAME

Khalil y Paolucci hicieron un sumario de los desafíos futuros que enfrentará el proyecto:

- Retener a países como Irán, Pakistán y Turquía, que podrían abandonar el SESAME una vez que construyan sus propios sincrotrones.
- Que Israel decida salirse, lo que convertiría de inmediato al SESAME en un proyecto de países musulmanes.
- Si Israel se sale, para la autoridad Palestina sería obvio que esta oportunidad de cooperación entre Palestina e Israel podría desaparecer.
- Que estalle una guerra regional.

Si alguno de estos escenarios llegara a convertirse en realidad, el SESAME pasaría a ser historia. De hecho, esto estuvo a punto de ocurrir en el año 2010, cuando se generó una ola de ataques en contra de científicos iraníes que atrajeron la atención mundial; dos científicos que tenían conexiones con el SESAME fueron asesinados, Masoud Alimohammadi, profesor en la Universidad de Tehrán y delegado al Consejo Directivo del SESAME, y Majid Shahriari, ingeniero nuclear que trabajaba con la Organización de Energía Atómica de Irán, país que acusó a la agencia de inteligencia israelí, Mossad, de estar detrás de esta ola de violencia. Sin embargo, estos incidentes no afectaron las relaciones entre los científicos en el SESAME.

RECOMENDACIONES

En esta sección se incluye una serie de recomendaciones específicas elaboradas por los ejecutivos del SESAME/Elettra en relación con el proyecto de construcción de un sincrotrón mexicano:

Solicitar la membresía como país observador en el SESAME: tanto Yasser como Giorgio propusieron que México considerara integrarse como observador en el Consejo Consultivo de SESAME, lo cual le daría 4 ventajas:

- Mayor integración con la comunidad internacional que opera sincrotrones.
- Acceso a los programas de capacitación para operadores y usuarios que organiza el SESAME a través de las organizaciones internacionales y países que apoyan este proyecto.
- Acceso a la información científica y técnica utilizada en la construcción del SESAME.
- Participación en los contratos de licitación para la construcción de equipo requerido por el SESAME.

Contactar ICPTP para solicitar apoyo técnico y financiero: Giorgio sugirió que el equipo científico mexicano contacte a los ejecutivos del Abdus Salam, Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) http://www.ictp.it, cuyo objetivo es promover la ciencia y la tecnología en países en vías de desarrollo, el cual tiene buenas relaciones con Elettra y están localizados en la misma ciudad, Trieste. El presidente de ICTP es de origen latinoamericano.

SESAME

Al centro, el Rey Abdullah II, a su izquierda el Presidente del Consejo y el Director del SESAME, y a la derecha el Primer Ministro de Jordania.

ANÁLISIS FODA

Este análisis se produjo con base en las experiencias recabadas por el equipo SESAME/ Elettra:

FORTALEZAS (F)

1. Liderazgo científico y técnico a nivel internacional (SESAME).
2. Apoyo político y científico a nivel internacional (SESAME).
3. Modelo jurídico específico, Estatutos de la UNESCO (SESAME).
4. Apoyo científico y técnico de expertos mundiales en cómo opera un sincrotrón.
5. Impulso a la industria local a través de las siguientes vías: derrama económica local y regional, y empleos locales.
6. Extensa comunidad de usuarios multinacionales y en todas las disciplinas (SESAME y Elettra).
7. Extenso programa de capacitación apoyado por la comunidad de aceleradores (SESAME).
8. Fuerte demanda potencial de servicios (SESAME).
9. Fuerte demanda de servicios (Elettra).
10. Tecnología de punta (Elettra).
11. Comercialización de la tecnología sincrotrón (Elettra).

DEBILIDADES (D)

1. Dependencia de financiamiento de múltiples fuentes.
2. Modelo ecléctico dependiente del equipo donado.
3. Por sus características, las líneas experimentales del sincrotrón dejarán de ser competitivas en pocos años (el SESAME es técnicamente un sincrotrón de tercera generación con capacidades técnicas bajas).
4. Falta de estrategia para ligarse con la industria del Medio Oriente.
5. Falta de más líneas de experimentación competitivas.
6. Falta de una subestación eléctrica.
7. Un solo proveedor de electricidad en la región.
8. Incertidumbre en la estabilidad del suministro eléctrico y el precio del mismo.
9. Las instalaciones y el equipo no cuentan con pólizas de seguro contra accidentes ni desastres naturales.

OPORTUNIDADES (O)

1. Primer sincrotrón de tercera generación en el Medio Oriente (SESAME).
2. Capacidad para incluir a otros países miembros en el proyecto, obteniendo así mayor estabilidad económica y fondos para futuras líneas de experimentación (SESAME).
3. Acceso a expertos internacionales en el mundo de los aceleradores (SESAME y Elettra).
4. Acceso a expertos internacionales en el uso de técnicas de experimentación (SESAME y Elettra).
5. Consultoría para el diseño experimental y el análisis de resultados.
6. Posibilidades comerciales para establecer y proveer de equipo científico de frontera a todo el mundo (Elettra).

AMENAZAS (A)

1. Inestabilidad política y económica en el Medio Oriente.
2. Conflicto armado en la región (posiblemente entre algunos de los miembros del SESAME).
3. Posible retiro de miembros clave por diferentes razones: están construyendo su propio sincrotrón, y en el caso de Israel, que decida retirarse y que el proyecto se convierta en un proyecto musulmán.
4. Retiro de aportaciones económicas de algunos miembros.
5. Incremento substancial del precio de la electricidad.
6. Inestabilidad en el suministro de electricidad.
7. Cambio climático y otros fenómenos naturales.
8. Oposición de la población local al proyecto (Alba, SESAME y Elettra).

SESAME

CONCLUSIONES

La experiencia de SESAME es la única de su tipo en el mundo. Su nacimiento abre la posibilidad, por un lado, de ofrecer servicios a los científicos y técnicos del Medio Oriente, y por otro lado de constituirse en un instrumento que ayude a la paz en la región. La inestabilidad de los últimos cinco años en la región ha movido los cimientos del proyecto en varias oportunidades, pero no lo ha derrumbado... todavía. La comunidad científica internacional de aceleradores se ha cubierto de gloria al iniciar y apoyar incondicionalmente este tipo de iniciativa. Los científicos y técnicos han empujado las fronteras científicas hasta el límite para ensamblar y modernizar un equipo que desde todo punto de vista es obsoleto. El SESAME representa algo más que un instrumento para la investigación, es un ejemplo de la capacidad humana para trabajar conjuntamente incluso con aquellas personas que, saliendo del salón de conferencias, podrían ser consideradas como enemigas.

ANEXOS

CRONOLOGÍA SINCROTRÓN ALBA

1990	Profesor Ramón Pascual y otros renombrados científicos empiezan la tarea de conseguir fondos para construir el primer Sincrotrón español.
1992	Estudio de viabilidad "El Laboratorio de Sincrotrón de Cataluña" elaborado por Joan Bordas y otros científicos renombrados, entre ellos Jordi Pascual y Ramón Pascual.
1993	Debate público con la comunidad científicas española para crear unidad en torno al proyecto.
2001	Informe Abela: "la evaluación de las necesidades, de las oportunidades científicas y del impacto socio-económico de una Fuente de Luz de Sincrotrón en España".
2002	Las administraciones española y la de Cataluña aprobaron la construcción de un sincrotrón en la zona de Cerdanyola del Vallès.
2003	Estudio de impacto económico dirigido por José García Montalvo de la Universitat Pompeu Fabra "Análisis Coste Beneficio y Estudio de Impacto Económico de una Fuente de Luz de Sincrotrón en el Vallès Occidental".
2004	Se crea la Asociación de Usuarios del Sincrotrón (AUSA).
2011	Los aceleradores empezaron a producir los fotones necesarios para probar las líneas de experimentación.
2012	El Alba comienza su operación con 7 líneas de experimentación.

CRONOLOGÍA SINCROTRÓN LNLS Y SIRIUS

1981	Cylon Da Silva, Ricardo Rodrigues, Aldo Craievich y Roberto Lobo inician la concepción del proyecto sincrotrón.
1985	Carta de la Asociación Brasileña de Física oponiéndose al sincrotrón.
1987	El Gobierno brasileño aprueba el proyecto sincrotrón.
1996	Se termina en construir el sincrotrón, empieza la fase de pruebas técnicas.
1997	Empieza a operar el sincrotrón con tres líneas de experimentación.

CRONOLOGÍA SINCROTRÓN AUSTRALIANO

1984	En 1984 se integra de manera informal, la primera comunidad de usuarios australianos del sincrotrón.
1987	Stephen Wilkins y Dudley Creagh forman una nueva asociación formal de usuarios, la Australian Beamline Users Group (ASBUG). Creagh fue su primer presidente y Wilkins su secretario.
1989	Reporte para el Primer Ministro "Small Country Big Science" que recomienda la compra de una línea de experimentación en el extranjero.
1989	La Academia de Ciencia Australiana propone la construcción de un sincrotrón en Australia.
1993	Empieza a operar la primera Línea de Experimentación Nacional Australiana (BL20B) en la Fábrica de Fotones de KEK, Tsukuba, Japón.
1992	El Consejo de Ciencia y Tecnología Australiano (ASTEC) recomienda la construcción de un sincrotrón en Australia.
1995	El Programa Australiano para la Investigación en Sincrotrones Extranjeros (ASRP) recibe financiamiento por $12.2M en 5 años. El Ministro de Ciencia, senador Cook aprueba los fondos para un estudio de viabilidad para el establecimiento de un sincrotrón en Australia.
1997	John Boldeman entrega al Gobierno Federal un informe de la viabilidad técnica del Sincrotrón Australiano.
1999	John Boldeman, entrega al Gobierno Federal un segundo informe mucho más detallado de las características técnicas de un primer Sincrotrón Australiano.
2001	El Gobierno de Victoria anuncia su decisión de construir un sincrotrón en los terrenos aldeaños a la Universidad de Monash.
2002	Se integran el Comité Asesor Nacional de Ciencia (NSAC), Comité Asesor Internacional de Ciencia (ISAC) y el Comité Internacional de Máquinas (IMAC) para guiar el diseño y desarrollo del primer sincrotrón.
2003	Empieza la construcción del sincrotrón, se planea terminarlo para el año 2008.
2004	El Ministro de Innovación y Gobernado interino, John Brumby, anuncia la inversión de $20 millones para construir 9 líneas de experimentación.
2005	Se termina de construir el edificio que hospeda al sincrotrón. Primeras pruebas técnicas del LINAC.
2006	Pruebas técnicas del amplificador con potencia de 3 GeV, el anillo de almacenamiento, y una línea de experimentación.
2007	El Sincrotrón Australiano empieza a operar en julio del 2007. El 31 de julio el Gobernador de Victoria y el Ministro Federal de Educación, Ciencia y Tecnología inauguran oficialmente el sincrotrón. El Gobierno de Victoria contribuyó $157 millones de los $221 que costó construirlo.

2009	Se inicia la crisis con el despido del director del sincrotrón, profesor Robert Lamb.
2010	En noviembre del 2010 se logra el 98% de eficiencia en las líneas de experimentación. Se publica el estudio: "The Science Case for the Development of the Australian Synchrotron".
2011	En mayo del 2011, el periódico Sunday The Age reportó que el sincrotrón podría ser cerrado en el 2012 por la falta de un acuerdo entre el Gobierno de Victoria y el Federal para asegurar su futuro financiamiento de operación y expansión de las líneas de experimentación.
2012	Se asegura el financiamiento del sincrotrón por 4 años, con un paquete presupuestal que asciende a los $95 millones de dólares. El 10% del personal es recortado. El director del sincrotrón, Keith Nugent renuncia a su cargo para coincidir con la toma de control del sincrotrón por ANSTO.
2013	Después de 20 años de servicio, el 25 de febrero se cierra la línea experimental (BL20B) localizada en la Fábrica de Fotones de Japón KEK, Tsukuba, Japón.

CRONOLOGÍA SINCROTRÓN SESAME

1988–95	Abdus Salam, Sergio Fubini y otros impulsan el proyecto SESAME.
1995	Reunión de MESC's en noviembre de1995 en Dahab, Egipto, en donde Venice Gouda, Ministro de Educación Terciaria en Egipto y Eliezer Rabinovici (MESC y la Universidad Hebrea en Jerusalén) apoyaron las acciones encaminadas a impulsar la cooperación Árabe –Israelí.
1997	Siguiendo una sugerencia de Gus Voss (DESY) y Herman Winick (SLAC), Sergio Fubini (CERN y la Universidad de Turín y Herwig Schopper (director general del CERN de 1981–1987) persuadieron al Gobierno de Alemania de donar los componentes principales del sincrotrón en Berlín, para que sean usados para el SESAME. Alemania acepta la proposición y dona el anillo de almacenamiento con una potencia de 0.8 GeV para que sea reconstruido y modernizado para el proyecto SESAME.
1999	Se establece el Consejo interno de administración bajo los auspicios de UNESCO.
2002	Se decide construir un anillo 2.5 GeV usando el amplificador de BESSY 1. Esto lo convertiría en un instrumento competitivo de tercera generación. Primera Reunión de Usuarios del SESAME del 19 al 28 de octubre del año 2002 en Amman, Jordania.
2003	Se inicia la construcción del edificio en Allan, Jordania a30 km de la capital Amman.
2004	El 15 de abril del 2004, la UNESCO recibe la aceptación de 6 países del medio oriente para participar en el proyecto.
2008	Se termina la construcción del edificio.
2014	El 3 de septiembre del 2014 entra en operación el amplificador.
2015	Se planó que los primeros experimentos tuvieran lugar finales del 2015 con 4 líneas experimentales (de acuerdo al financiamiento programado).

COMENTARIOS DE LOS PROYECTOS SINCROTRÓN

SINCROTRÓN ALBA

Este análisis se basó en las entrevistas realizadas a sus directivos, personal científico, técnico y administrativo, los días 13 y 14 de mayo de 2014, en las instalaciones del Sincrotrón Alba. Se agradece a las siguientes personas por el valioso tiempo otorgado:

- Ramón Pascual, presidente.
- Caterina Biscari, directora.
- Gastón García, subdirector.
- Alejandro Sánchez, director asociado.
- Salvador Ferrer, director asociado.
- Mariano Sazatornil, jefe de la división de administración.
- Montserrat Pont, experta en aceleradores.
- Enric Vinyals, secretario ejecutivo.

SINCROTRONES BRASILEÑOS: LNLS Y SIRIUS

Este análisis se basó en las entrevistas realizadas a sus directivos, personal científico, técnico y administrativo del 19 al 21 de mayo de 2014 en las instalaciones del sincrotrón del LNLS, en Campinas, Brasil. Se agradece a las siguientes personas por el valioso tiempo otorgado:

Cylon da Silva, exdirector del LNLS y padre del sincrotrón brasileño.

- Antonio José Roque da Silva, director.
- Ricardo D. Rodrigues, coordinador del proyecto técnico de Sirius.
- Roberta Santarosa, asesora de la dirección.
- Harry Westfahl, subdirector científico.
- Oscar Vigna Silva, coordinador del grupo de Infraestructura de proyectos especiales.
- Cleonice Ywamoto, en la gestión administrativa.

SINCROTRÓN AUSTRALIANO

Este estudio de caso se basó de las entrevistas realizadas a directivos y personal administrativo, en las instalaciones del Sincrotrón Australiano y al exgobernador de Victoria en las oficinas estatales. El estudio se complementó con un análisis de escritorio y el sumario de dos presentaciones de las autoridades del Sincrotrón Australiano para diplomáticos de países latinoamericanos y australianos. La primera presentación se hizo para los embajadores de México, honorable Beatriz López Gargallo, el embajador de Argentina, el de Perú en 2011 y el autor de este estudio. La segunda presentación fue organizada para el embajador de Australia en México, honorable Tim George, y el autor de este estudio, el 6 de octubre de 2014. Se agradece a las siguientes personas por el valioso tiempo otorgado:

• Keith Nugent, exdirector del Sincrotrón Australiano.

• Andrew Peele, director del Sincrotrón Australiano.

• George Borg, director administrativo.

• John Brumby, exgobernador del Estado de Victoria.

SINCROTRÓN SESAME

El análisis del SESAME se basó en la información proporcionada por dos ejecutivos de este sincrotrón, en entrevistas llevadas a cabo en Amman, Jordania del 8 al 10 de mayo de 2014. Se agradece a las siguienes personas por el valioso tiempo otorgado:

• Dr. Yasser Khalil, director administrativo.

• Dr. Giorgio Paolucci, director científico.

Aunque en el momento de la entrevista el doctor Paolucci ya había sido nombrado director científico del SESAME, él todavía trabajaba para el sincrotrón italiano **Elettra**. Como tal, tuvimos la oportunidad, en algunos casos, de añadir la experiencia de Elettra (http://www.elettra.trieste.it) a la del SESAME.

GLOSARIO

ASBUG: Grupo Australiano de Usuarios de Haces de Luz para la Experimentación.

AUSE: Asociación de Usuarios de Sincrotrón de España que tiene por objeto: Contribuir a desarrollar y perfeccionar todos los aspectos referentes a la instrumentación, generación y manipulación de este tipo de instalaciones.

BM25: Es una línea experimental de luz de España que se encuentra en Francia, está dedicada a diversos experimentos de estructura de sólidos y superficies.

BM16: Es una línea experimental de luz de España que se encuentra en Francia que está dedicada a la estructura de macromoléculas y a experimentos de dispersión de luz por muestras biológicas (fibras musculares, polímeros naturales) y plásticas.

CERN: Es la Organización Europea para la Investigación Nuclear, los físicos e ingenieros están investigando la estructura fundamental del universo. Utilizan los instrumentos científicos más grandes y complejos del mundo para estudiar los componentes básicos de la materia: las partículas fundamentales. Las partículas se hacen colisionar juntas a una velocidad cercana a la de la luz. El proceso proporciona a los físicos pistas sobre cómo interactúan las partículas y proporciona información sobre las leyes fundamentales de la naturaleza.

CNPEM: Centro Brasileño de Investigaciones en Energía y Materiales, es una organización social calificada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovaciones y Comunicaciones (MCTIC). Situado en Campinas-SP, posee 4 laboratorios referencias mundiales y abiertos a la comunidad científica y empresarial. El Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS) opera la única fuente de luz Síncrotrón de América Latina y está en ese momento construyendo Sirius, el nuevo acelerador brasileño de cuarta generación para análisis de los más diversos tipos de materiales orgánicos e inorgánicos; el Laboratorio Nacional de Biociencias (LNBio) desarrolla investigaciones en áreas de frontera de la Biociencia, con foco en biotecnología y fármacos; el Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología de Bioetanol (CTBE) investiga nuevas tecnologías para la producción de etanol celulósico; y el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LNNano) realiza investigaciones con materiales avanzados con gran potencial económico para el país.

DITAC: Departamento de Industria y Comercio Australiano.

Emitancia: Es la cantidad total de energía radiante de todas las longitudes de onda que es emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y unidad de superficie.

ESRF: Laboratorio Europeo de Radiación Sincrotrón ubicado en Grenoble, Francia.

FAPESP: Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Sao Paulo, con el objetivo de proporcionar becas, fondos y programas de apoyo a la investigación, la educación, e innovación en instituciones públicas y privadas y empresas en el Estado de Sao Paulo.

KEK: Fábrica japonesa de fotones, es una organización nacional cuyo propósito es operar el más grande laboratorio de física

de partículas en Japón. Su función principal es proporcionar aceleradores de partículas y otras infraestructuras necesarias para la física de alta energía, la ciencia de materiales, la biología estructural, la ciencia de la radiación, las ciencias de la computación, la transmutación nuclear y otras ciencias.

LINAC: El Acelerador Lineal del sistema de inyección representa no sólo el punto de inicio del proceso de generación de luz, es además una componente que contiene todas las tecnologías del resto del complejo de aceleradores.

LNLS: Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón es responsable de la operación de la única fuente de luz sincrotrón de América Latina. Con instalaciones abiertas, el LNLS ofrece una infraestructura extremadamente sofisticada para investigadores académicos e industriales, brasileños y extranjeros.

OPAL: El reactor Open Pool Australian Lightwater, es un reactor multiusos de 20 megavatios de última generación que utiliza combustible de uranio poco enriquecido (LEU) para alcanzar una amplia gama de objetivos de medicina nuclear, investigación, científicos, industriales y de producción.

SLAC: Aceleradores lineales en Stanford. Es 1 de los 17 Laboratorios Nacionales del Departamento de Energía (DOE) y operado por la Universidad de Stanford en nombre del DOE. Desarrolla y opera algunas de las principales instalaciones científicas del mundo, incluido el primer láser de rayos X de electrones libres. La investigación en SLAC explora la estructura y la función de la materia y las propiedades de la energía, el espacio y el tiempo, en las escalas más pequeñas y más grandes, con el objetivo de resolver los problemas que enfrenta la sociedad y avanzar en el conocimiento humano.

SENER: El grupo internacional de ingeniería y tecnología en Cataluña se ha convertido en un centro de excelencia en las disciplinas de aeronáutica, sistemas ferroviarios, tecnologías hidráulicas, acústica, ingeniería de puertos y costas, estructuras civiles, sistemas avanzados de fabricación y ensayo, instrumentación y electrónica para ciencia y experimentación del espacio, mecatrónica de precisión para astronomía y grandes instalaciones científicas y tecnología sanitaria. Esta nueva sede albergará a los cerca de 300 profesionales entre ingenieros, arquitectos, matemáticos, físicos y médicos que componen su equipo multidisciplinar.

SOLEIL: Es el centro francés de radiación sincrotrón, un gran instrumento multidisciplinario y un laboratorio de investigación (acelerador de partículas).

SINCROTRÓN: La llamada radiación sincrotrón o luz sincrotrón es un tipo de luz emitida por electrones u otras partículas con carga que viajan a velocidades cercanas a la de la luz (300 mil km/segundo), con muy alta energía y que giran dentro en un anillo de contención. Esta luz tiene características especiales, que les permite a los científicos observar fenómenos de la naturaleza, del cuerpo humano o de cualquier objeto; de una manera extremadamente fina y precisa. Las máquinas que producen esta luz de forma intencional, se les llama fuentes de luz sincrotrón o simplemente, sincrotrones. Estas pertenecen a una familia más amplia de máquinas conocidas como aceleradores de partículas.

REFERENCIAS

ABC radio, 2013. Entrevista concedida por los profesores Brian Schmidt, ganador del Premio Nobel de Física en 2011 y Andrew Peele, director del Sincrotrón, el 30 de noviembre de 2013, al programa sobre Ciencia, transmitido por la radio ABC (Australian Broadcasting Corporation).

Australian Academy of Science (AAS), 1989. A requirenment for Australian Research: Access to Big Science Facilities. A Report by the National Australian Committee for Christallography, March 1989.

Boldeman, J.W., 1997. Feasibility Study for an Australian Synchrotron. ASRP Document.

Boldeman, J.W., 1999. The Australian Synchrotron Light Source. The Boomerang Report I-IV.

Creagh, D., 2013. The Decommissioning Of The Australian National Beamline (Bl20b) At The Photon Factory Kek Tsukuba Japani. RPS Bulletin Newsletter of the International Radiation Physics Society, Vol 27 N° 1.

Del Río, Víctor, 2015. Interview with John Brumby, former Premier of Victoria. Old Treasury Building, Melbourne, Victoria, Australia. 15th of April 2015

Website: https://cds.cern.ch/record/2237478?ln=en

Website: http://theconversation.com/funding-secures-the-future-of-australian-synchrotron-6115

Website: http://www.abc.net.au/news/2009-12-10/scientists-walk-out-on-synchrotron/1177444

Website: http://www.ansto.gov.au

Website: https://www.nytimes.com/2017/05/08/science/sesame-institute-jordan-synchrotron.html

Website: http://www.scienceprojects.com.au/science-projects-articles/2009/11/29/scientists-rebellion-to-cripple-synchrotron-beam/

Website:http://www.sesame.org.jo/sesame/images/Press_Release/Press_Release_2017_11_22_First_Light_For_Pioneering_SESAME_Light_Source.pdf

Website: http://www.ska.gov.au/Pages/default.aspx.

Website: http://www.smh.com.au/national/advisers-quit-in-perfect-synch-20091210-km9e.html

Website: http://www.synchrotron.org.au/about-us/governance-and-committees

Website: http://www.synchrotron.org.au/news/news/media-releases/393-australian-synchrotron-announces-senior-appointments

Website: http://www.theaustralian.com.au/national-affairs/key-science-project-in-melbourne-squeezed-for-cash/story-fn59niix-1226138263943

Website: http://www.theage.com.au/national/scientists-rebellion-to-cripple-synchrotron-beam-20091128-jy0h.html

Website: http://www.theage.com.au/national/seven-scientists-at-synchrotron-issue-ultimatum-20091205-kc3o.html

Website: http://www.theage.com.au/national/stinkatron-chaos-at-the-top-20091107-i2vn.html