UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINCROTRÓN MÉXICO

# PLAN ESTRATÉGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SINCROTRÓN EN MORELOS.

## ANEXO:

## Aplicaciones Industriales de la Luz Sincrontrón

M.C. Mario Agustín Torres Oviedo
Dr. Juan Reyes Herrera

**Oficina de Vinculación Industrial**
Proyecto FOMIX CONACYT-Morelos
Proyecto Sincrotrón México
Instituto de Física, UNAM
www.fisica.unam.mx/sincrotron/industria
(en construcción)

**Mario Agustín Torres Oviedo**
mario.torres@correo.nucleares.unam.mx
555 622 4660 ext. 2282

**Juan Reyes Herrera**

La elaboración de este documento fue posible gracias al apoyo del proyecto Fomix Conacyt-Morelos 224392 “Plan estratégico para la construcción y operación de un sincrotrón en Morelos” y de la Universidad Nacional Autónoma de México, en particular del Instituto de Física. Agradecemos la colaboración del Dr. Fernando Matías Moreno Yntriago y el I.F. Rodolfo Ricardo Leo Méndez.

# CONTENIDO


1. INTRODUCCIÓN ..... 1
2. RESUMEN EJECUTIVO ..... 4
3. EL SINCROTRÓN EN LA INDUSTRIA ..... 5
   3.1. Fuentes de luz de sincrotrón ..... 5
   3.2. Utilización del sincrotrón en la industria ..... 7
   3.3. Industria Mexicana en la Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+DT) ..... 8
4. PRINCIPALES TÉCNICAS DE SINCRONTRÓN UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ..... 11
   4.1. Absorción de Rayos X (XAS) ..... 12
   4.2. Difracción de Rayos X (XRD) ..... 13
   4.3. Espectroscopía de Fotoemisión de Electrones (XPS) ..... 16
   4.4. Tomografía de Rayos X y Estructura Química ..... 18
   4.5. Microscopía Infrarroja ..... 19
   4.6. Dispersión de Rayos X a Ángulos Pequeños (SAXS) ..... 20
5. CASOS DE ESTUDIO ..... 22
   5.1. Agro-alimentos ..... 24
      5.1.1. Alimentos ..... 24
      5.1.2. Agricultura y ganadería ..... 32
   5.2. Energía y medio ambiente ..... 36
      5.2.1. Medio ambiente ..... 36
      5.2.2. Baterías y Energías Renovables ..... 41
      5.2.3. Petróleo y gas ..... 45
   5.3. Materia prima ..... 50
      5.3.1. Cerámica y vidrio ..... 50
      5.3.2. Cemento ..... 50
      5.3.3. Minería ..... 56
      5.3.4. Metales ..... 58
   5.4. Ingeniería y Manufactura ..... 63
      5.4.1. Automotriz ..... 63
      5.4.2. Aeronáutica ..... 69
      5.4.3. Semiconductores y Materiales Avanzados ..... 72

5.5. Industria Química....83
5.5.1. Procesos de Corrosión....83
5.5.2. Catalizadores....85
5.5.3. Plásticos y Polímeros....91
5.5.4. Químicos....93
5.5.5. Lubricantes y Aditivos....96
5.6. Salud y Cuidado Personal....99
5.6.1. Biomédica....99
5.6.2. Biotecnología....104
5.6.3. Farmacéutica....105
5.6.4. Cosméticos....112
5.7. Patrimonio Cultural....116
6. CONCLUSIONES....122
7. AGRADECIMIENTOS....122
A1. Centros de Investigación Privados en México....123
Referencias....129

# 1. INTRODUCCIÓN

Un componente fundamental para el crecimiento de un país es el esfuerzo que éste invierte en investigación y desarrollo (I+DT). La inversión en el avance científico y tecnológico no sólo es un claro indicador del desarrollo de un nación sino que es también el agente que impulsa el crecimiento de ésta, impactando así en la calidad de vida de sus ciudadanos y en la competitividad ante otras naciones dentro el contexto global actual. El presente proyecto plantea el diseño y construcción de una instalación de luz de sincrotrón, la cual será un elemento impulsor y guiador de este avance en la ciencia, la tecnología, la innovación y la industria en México.

En el "Presupuesto Público Federal para la FUNCIÓN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2014-2015" de la LXII Legislatura del Congreso de la Unión de México, el investigador parlamentario M. en E. Reyes Tépach M. alude al economista Luis Jorge Garay, quien establece tres elementos fundamentales para explicar la relación entre la producción de conocimiento y el crecimiento económico de un país: primero, la relación entre el crecimiento y el desarrollo tecnológico (medido por el número de patentes registradas y publicaciones científicas); segundo, el crecimiento de capital humano (medido por el nivel de educación y calificación de ingenieros y científicos); y tercero, la participación de capital foráneo. [1]

La construcción de una fuente de luz de sincrotrón contribuirá de manera directa con estos tres elementos antes mencionados:

Primero. La ciencia y la tecnología requieren de infraestructura y herramientas determinadas para poder llevar a cabo su labor de generación de conocimiento (reflejado en publicaciones y patentes); en este punto, la importancia de una fuente de luz sincrotrón reside en que para la ciencia y la tecnología actuales ya no les es suficiente contar solamente con laboratorios convencionales. En el siglo XIX, el país que no contara con un microscopio o una máquina de vapor entre su infraestructura de ciencia y tecnología estaba destinado a quedarse rezagado y prácticamente fuera de la era industrial; en el siglo XXI quien no posea una fuente de luz de sincrotrón dentro de su infraestructura de investigación quedará rezagada en su desarrollo científico,

tecnológico e industrial, frenando de manera inconmensurable la innovación. Un aspecto de suma importancia a considerar es que las aplicaciones de la luz de sincrotrón benefician no solamente a un sector científico sino a una amplio espectro de áreas en la ciencia, la tecnología y la industria es una herramienta de análisis multidisciplinaria y multifuncional: los numerosos centros de investigación de luz de sincrotrón existentes y en operación en todo el mundo se utilizan para análisis en ciencia básica, el sector salud, agricultura y alimentos, materias primas, energéticos, y las industrias básica, de transformación y de especialización tecnológica, e incluso contribuciones al patrimonio cultural.

Segundo. Un laboratorio de luz de sincrotrón es en realidad un conjunto de laboratorios cuyo número podrá aumentarse de acuerdo con las necesidades de la ciencia, la tecnología y la industria, necesitando, por tanto, un gran capital humano: cientos de científicos (biólogos, físicos, químicos, farmacéuticos, etc.), ingenieros (electromecánicos, químicos, electrónicos, de materiales, computacionales, de control, etc.) y técnicos calificados y especializados. Esto convierte a un sincrotrón en un foco de educación, contribuyendo en gran manera a frenar la llamada “fuga de cerebros” hacia el extranjero.

Tercero. La construcción de una instalación competitiva no sólo contribuirá a mantener capital humano calificado y especializado, sino que además atraerá elementos extranjeros de alta calidad que enriquecerán e incrementarán el potencial científico, tecnológico y de innovación del país. La comunidad internacional está consciente de todo esto: a este respecto, la opinión actual de expertos provenientes de diferentes sincrotrones alrededor del mundo ha dejado de ser: “México necesita un sincrotrón para impulsar el desarrollo y entrar en la escena competitiva internacional”, y se ha transformado, en cambio, con algo de asombro en: “¿Por qué México todavía no ha construido una instalación de éstas?”. Evitando entrar en comparación con las potencias económicas mundiales como Estados Unidos, China, Inglaterra, Francia, Japón y Rusia, donde el número de sincrotrones varía desde dos hasta diez en operación en cada país, nos enfocamos entonces en las economías emergentes: en Armenia, Irán, Jordania, Turquía y Singapur sus respectivas primeras fuentes de luz se

encuentran o en fase de diseño o ya en fase de construcción; mientras que Tailandia, Taiwán, India, y Brasil ya tienen cada uno, en operación, una instalación de este tipo y están construyendo su segunda fuente de luz. De las 15 economías más fuertes del mundo, México (la número 13) es la única que no posee una fuente de luz de sincrotrón.

Por todo esto, la construcción de una fuente de luz sincrotrón en el país es imperante. Los beneficios de esta instalación son difícilmente cuantificables, ya que aparte del impulso vertiginoso dado a la ciencia, tecnología, innovación e industria nacionales; impactará también en la generación de derrama económica y el bienestar social del país.

## 2. RESUMEN EJECUTIVO

Las fuentes de luz sincrotrón son herramientas especializadas de análisis, que pueden ser utilizadas en aplicaciones industriales. Desde el año 2000, alrededor de 2 mil empresas y compañías privadas han realizado más de 4 mil proyectos industriales en laboratorios de luz sincrotrón. Para proteger las patentes de sus procesos y productos, los estudios que realiza la industria en estos centros por lo regular son confidenciales, por lo que es difícil obtener la información explicita de todos estos proyectos. No obstante, a partir de la información disponible se hizo una recopilación de más de cien diferentes casos realizados directamente por la industria, incluyendo también proyectos que ayudaron en la identificación, protección y/o preservación de patrimonio cultural. Los casos de estudio presentes en este documento se presentan con una descripción detallada: incluyen la compañía o empresa que lo realizó, la finalidad del estudio, las técnicas utilizadas y los resultados encontrados, así como la utilidad y ventajas de realizarlos en un sincrotrón. Los casos de estudio se dividieron en las siguientes áreas:

- **Agro-alimentos**
  a) Agricultura
  b) Ganadería
  c) Alimentos
- **Materia prima**
  a) Cementos
  b) Cerámicas
  c) Metales
  d) Minería
- **Industria química**
  a) Catalizadores
  b) Plásticos y Polímeros
  c) Lubricantes y Aditivos
  d) Procesos de Corrosión
- **Energía y medio ambiente**
  a) Baterías
  b) Energías Renovables
  c) Petróleo y Gas
- **Ingeniería y manufactura**
  a) Automotriz
  b) Aeronáutica
  c) Electrónicos
  d) Semiconductores y Materiales Avanzados
- **Salud y cuidado personal**
  a) Farmacéutica
  b) Biomedicina
  c) Cosméticos
- **Patrimonio Cultural**

De forma complementaria, se describen de manera básica las principales técnicas utilizadas por la industria en este tipo de instalaciones. Si bien estas técnicas también se utilizan en laboratorios convencionales, no tienen el alcance suficiente para poder realizar la gran mayoría de las aplicaciones industriales aquí mostradas.

# 3. EL SINCROTRÓN EN LA INDUSTRIA

## 3.1. Fuentes de luz de sincrotrón

Una fuente de luz sincrotrón, en su carácter más simple y fundamental, es una herramienta de análisis. Su función es generar un haz de luz (radiación) altamente brillante con características únicas que le permiten penetrar la materia a niveles sin precedente y develar propiedades que son imposibles de observar en los laboratorios convencionales actuales.

Este haz es de luz muy particular es generado en una instalación en forma de anillo, y después es dirigido hacia terminales o laboratorios especializados donde se utiliza para hacer el análisis correspondiente.

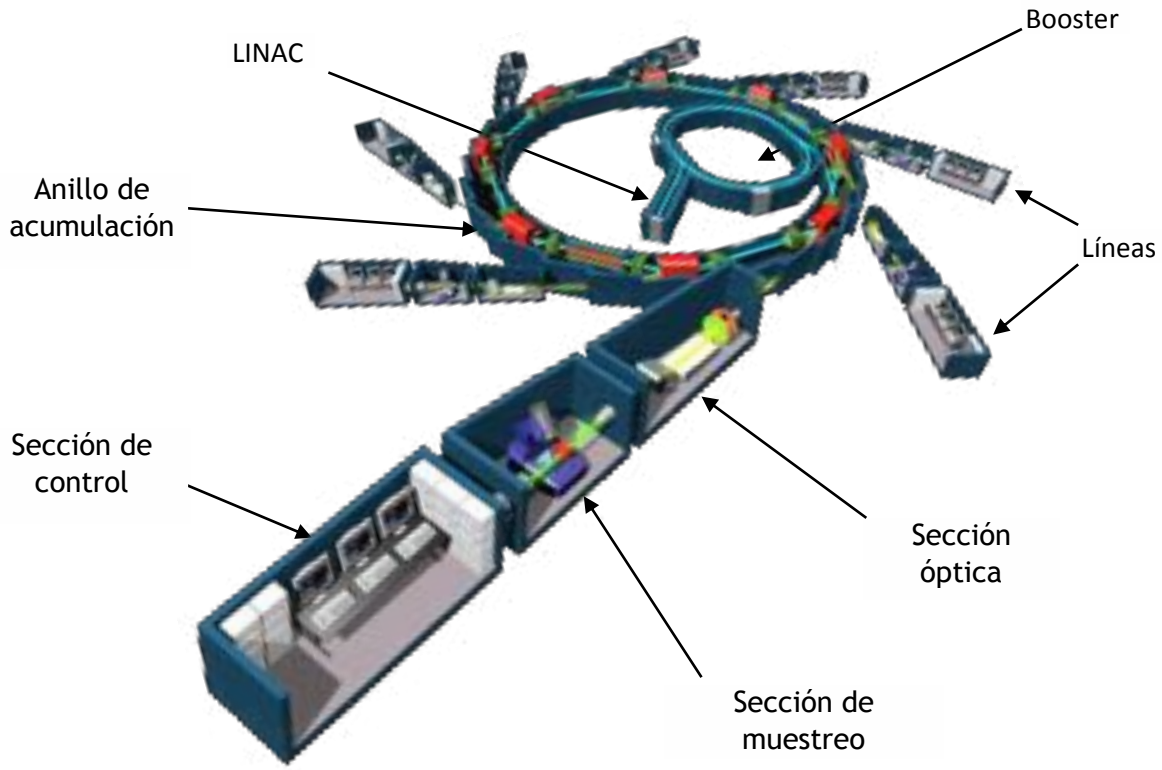
El funcionamiento del sincrotrón comienza con una fuentes de electrones los cuales son sometidos a un acelerador lineal de electrones (LINAC), después del cual, dichos electrones pasan a un primer acelerador circular de denominado anillo impulsor o *booster* que los acelera a su nivel de energía final, luego son inyectados en el anillo de acumulación principal. Es en este anillo llamado de acumulación o almacenamiento donde los electrones son manipulados para que emitan la radiación de sincrotrón.

Esta radiación o luz de sincrotrón sale del anillo en puntos específicos en forma de un haz altamente concentrado y colimado, en cada uno de estos puntos se construye un laboratorio al que se le denomina línea que posea una sección para manipular, modificar y enfocar el haz, una sección donde se monten las muestras y detectores y finalmente una sección de control y recabado de datos. El número de líneas en un sincrotrón varía de acuerdo a las necesidades e inversión de cada país, yendo desde 6 hasta 60 en algunos sinrotrones.

Las características de la radiación o luz que se emite en un sincrotrón son:

- Alta intensidad. El brillo de este haz de luz es millones de veces más intenso que las fuentes de los laboratorios convencionales existentes. Esto permite que la muestra no requiera de mucha preparación especial y que los análisis puedan realizarse en

condiciones lo más cercanas a la realidad operativa de las muestras analizadas.




- Alta colimación. El tamaño del haz puede ser enfocado y concentrado en un área de mínimas proporciones, permitiendo así analizar la materia con una alta resolución de micrómetros y hasta nanómetros.

- Amplio espectro. La luz de sincrotrón posee un rango de frecuencias que van desde el infrarrojo lejano, pasando por el ultravioleta y los rayos X suaves hasta los rayos X duros de alta energía. El haz puede ser filtrado subsecuentemente para seleccionar la frecuencia en particular que se necesite para alguna de las numerosas técnicas de análisis.

- Alta resolución temporal. La luz es generada en pulsos de alta velocidad, intervalos de picosegundos permitiendo el monitoreo en tiempo real de procesos químicos, físicos e industriales, con una resolución temporal de microsegundos hasta picosegundos.

- Polarización. La luz de este haz puede manipularse y filtrarse para polarizarse de manera específica, algo que no es posible hacer en ningún otro tipo de laboratorio y que permite realizar estudios muy particulares los cuales no serían posibles de lograr con una luz no polarizada.

Estas características son las que propician el uso de técnicas avanzadas de análisis que no son posibles de realizarse en ningún otro centro de tecnología o laboratorio existentes en el mundo.

### 3.2. Utilización del sincrotrón en la industria

Debido a que el sincrotrón ofrece una alta intensidad luz en un amplio intervalo espectral, se puede utilizar para comprender las propiedades subyacentes de la materia y los procesos en la física, química, geología y biología; por lo tanto, es de gran importancia en numerosas industrias.

La industria de semiconductores, incluyendo la litografía, utiliza la radiación sincrotrón para estudiar problemas en el material de interfaz durante sus procesos de producción [2]. Las industria química lo utilizan para estudiar las propiedades tales como el estrés o la textura de diversos materiales y productos, así como los procesos y reacciones químicas en tiempo real y en operación in situ [3], [4]. Tal vez la aplicación industrial más conocida de un sincrotrón es la investigación basada en la biología macromolecular, en particular, en proteínas y en el desarrollo de fármacos [4]. Con el poder de difracción de rayos X se pueden visualizar las estructuras en 3D de proteínas y ácidos nucleicos. Una de las mayores ventajas del uso sincrotrón es la rápida colección de datos y de alta resolución de cristales muy pequeños, en comparación con experimentos que se llevan a cabo en un laboratorio estándar de rayos X.

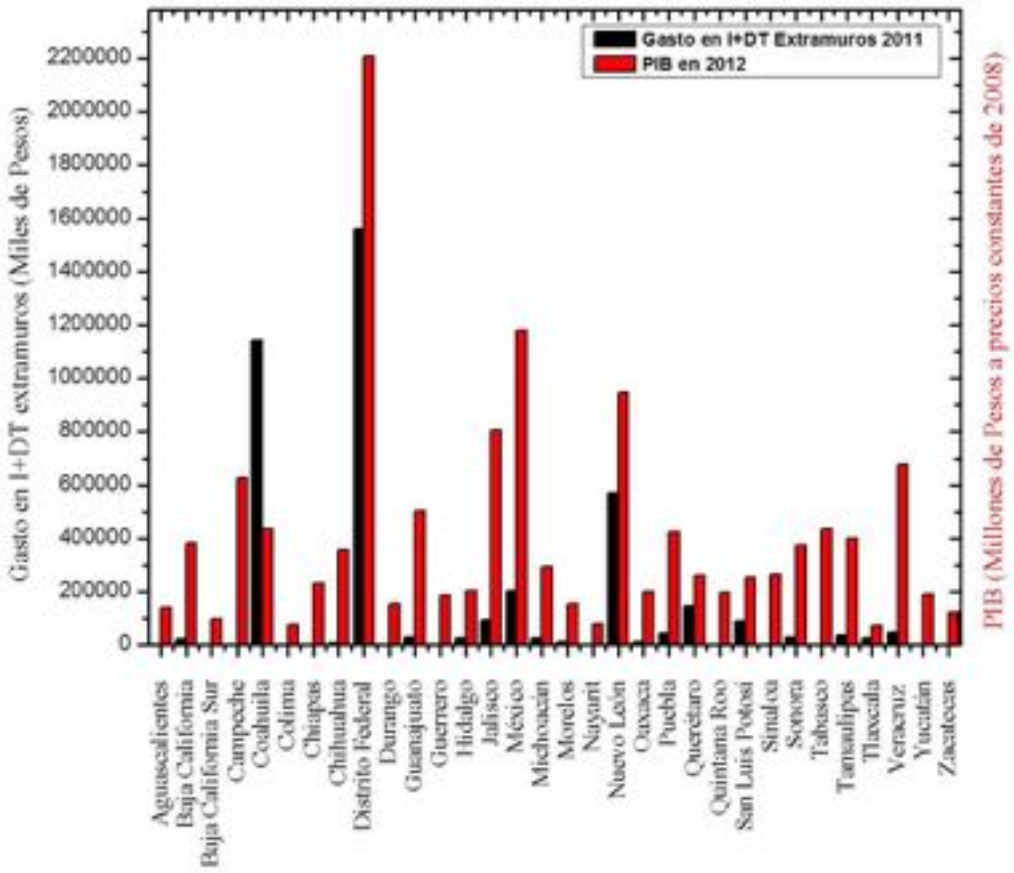
La mayoría de las investigaciones realizadas por y para la industria que aprovechan la radiación sincrotrón, son confidenciales.

La Instalación de Radiación Sincrotrón Europea (ESRF, por sus siglas en inglés) es apoyada y compartida por 20 países y es hasta la fecha la más poderosa fuente de radiación sincrotrón en Europa. Sólo en las líneas de luz de cristalografía micromolecular se procesan más de 10 000 muestras industriales [5]. Aunque no se conoce el porcentaje exacto de proyectos que involucran de algún modo las aplicaciones industriales, se estima que puede alcanzar un 25% del número total de proyectos [6].

En Alemania existe el sincrotrón llamado ANKA el cual es puramente especializado en las necesidades de clientes industriales. La Fuente Nacional de Luz Sincrotrón (NSLS), ubicada en EE.UU., es otro centro de investigación científico que se centra en estudios industriales y comerciales. Una prueba de esto se demuestra con su programa industrial de mejora, que se inició con el fin de mejorar la investigación industrial en el NSLS, así como atender las necesidades de la industria y usuarios comerciales. Las líneas de luz que son las más utilizadas por los usuarios industriales [7]. Otro ejemplo de un sincrotrón comprometido con la industria es la fuente de luz sincrotrón SPRING-8, en el que el número de experimentos de origen industrial oscila entre el 25 % y 30 % del total de experimentos realizados [8].

### 3.3. Industria Mexicana en la Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+DT)

Existe una gran gama de empresas en México, de éstas, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), solamente 1,789 empresas llevan a cabo actividades de Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+DT), lo que equivale a tan solo el 5 % del total [9]. En la siguiente gráfica se muestra una comparación del PIB y el gasto en I+DT por parte de la inversión privada para cada entidad federativa de México.




Empresas que invierten en I+DT en México comparado con el producto interno bruto (PIB) por entidad federal.

Los tipos de empresas que existen en México y que más se interesan en realizar el desarrollo de sus productos y procesos se muestran por sector en la Tabla 1.

| Sector | Rama |
|---|---|
| Energía | Petróleo,Gas y Combustibles |
| Materiales | Materiales de Construcción<br>Productos Químicos<br>Productos de Vidrio y Plástico<br>Metales y Minería<br>Fabricación de Materiales |
| Industrial | Industria Aeronáutica y Defensa |
| Salud | Biotecnología<br>Productos Farmacéuticos<br>Tecnología Medica |
| Tecnología de la Información | Equipo Tecnológico y Hardware<br>Semiconductores y Equipo Relacionado |

**Tabla 1.**

Un problema presente en el país es la poca inversión que las empresas realizan en la I+DT, sin embargo, existen centros donde se realiza investigación importante para mejorar las tecnologías de algunas empresas, por ejemplo se tiene el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) o el Centro de Investigación en Polímeros del consorcio Comex. En el *Anexo 1* se muestra una lista de empresas que potencialmente estarían interesadas en ser usuarios de un sincrotrón.

Otro problema que se tiene es el gran desconocimiento que existe por parte de la industria de lo que es un sincrotrón, y de cómo le puede ser útil un sincrotrón. Se requiere realizar una labor de divulgación con las empresas, informando acerca de lo que un sincrotrón puede ofrecer para resolver sus retos y desafíos. Para esto es necesario entender las técnicas que se requieren para la industria, las cuales se muestran en la *sección 4*. Además de encontrar ejemplos concretos de colaboraciones existentes entre otros sincrotrones en el mundo y las industrias, *sección 5.*

# 4. PRINCIPALES TÉCNICAS DE SINCRONTRÓN UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA

En esta sección del informe, se presentaran las técnicas de análisis con luz sincrotrón más comunes que son utilizadas por las industrias alrededor del mundo. Al revisar las técnicas que ofrecen los diferentes laboratorios de luz de sincrotrón existentes y los ejemplos que se encontraron; se puede realizar una lista de las técnicas típicas que pueden cubrir las necesidades de la industria en general. En la Tabla 2 se encuentran estas técnicas junto con ejemplos de muestras que se pueden estudiar. Desde luego que estas técnicas no son las únicas que se pueden implementar en un laboratorio de luz sincrotrón, pero si las más solicitadas por el sector industrial.

| | | Técnicas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Espectroscopia de Rayos X (Absorción y Emisión) (XAS y XRF) | Difracción de Rayos X (XRD) | Microscopia Infrarroja (IRM) | Tomografía de Rayos X y Estructura Química (XR Imaging) | Espectroscopia de Fotoemisión de Electrones (XPS) | Dispersión de Rayos X a Ángulo Pequeño (SAXS) |
| Muestras | Mono-cristal | ● | ● | ● | | ● | |
| | Poli-cristalino (Polvo) | ● | ● | ● | ● | ● | |
| | Amorfos | ● | | ● | ● | ● | ● |
| | Películas Delgadas | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Polímeros y Compuestos Biológicos | ● | | ● | ● | ● | ● |
| | Emulsión Gel-Sol | ● | | ● | ● | ● | ● |
| | Membranas Biológicas | ● | | ● | ● | | ● |
| | Metálicos | ● | ● | ● | ● | ● | |

**Tabla 2.** Técnicas en un sincrotrón orientadas a los tipos de muestras que la industria puede proporcionar. Los nombres de las técnicas mostradas entre paréntesis son las siglas provenientes del inglés.

## 4.1. Absorción de Rayos X (XAS)

XAS (*X-ray absorption spectroscopy*) es una técnica para determinar la geometría local y/o la estructura local de la materia. En esta técnica se utiliza un haz de rayos X monoenergético (cuya energía sea ajustable), los rayos X se absorben por los electrones presentes en los átomos de la muestra, al analizar el espectro de absorción se puede obtener información elemental y el estado químico de los elementos presentes en la muestra. En la Figura 1 se muestra el arreglo experimental típico de la técnica XAS.

En el experimento se realiza un barrido alrededor de los bordes de absorción atómica de alguna capa interna (K, L o M). El XAS se divide en tres regiones típicas: el *pre-borde* de absorción, donde se logran encontrar algunas características debido a transiciones de electrones cerca del núcleo a estados vacíos ligados; *cerca del borde* de absorción se denomina XANES (*X-ray Absorption Near-Edge Structure*), ésta es dominada por transiciones a estados ligados no ocupados; la *extensión más allá del borde* de absorción, donde el espectro presenta oscilaciones, esta estructura fina extendida de absorción de rayos X (EXAFS: *Extended X-ray Absortion Fine Structure*) contiene información acerca de la estructura local alrededor del átomo absorbente [10]. En la Figura 2 se muestran estas regiones.

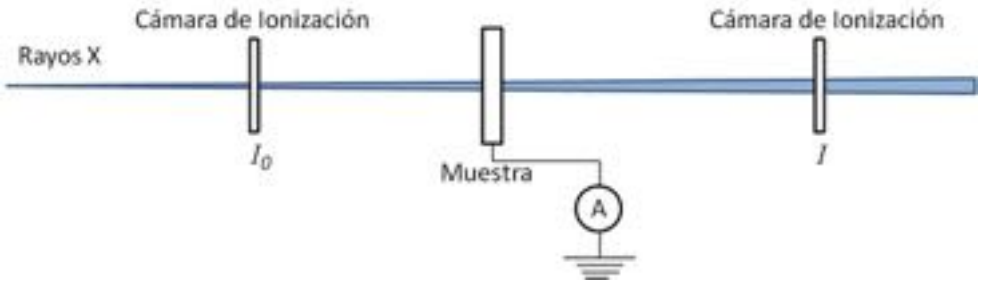



**Figura 1.** Esquema del arreglo experimental típico para XAS. $I_0$ es la intensidad del haz incidente, mientras $I$ es la intensidad después de la absorción de rayos X al pasar por la muestra. Es importante mencionar que las cámaras de ionización son los detectores más utilizados, sin embargo se pueden utilizar otro tipo como por ejemplo fotodiodos.

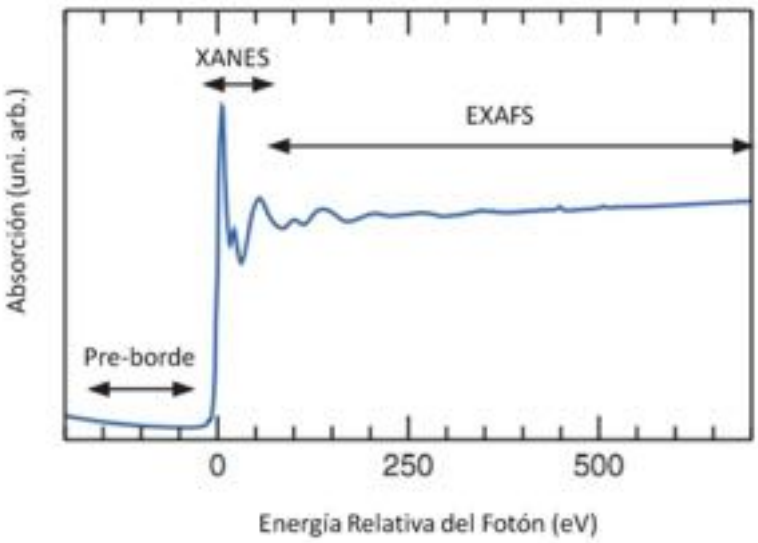



**Figura 2.** Regiones importantes en un espectro de absorción de rayos X típico alrededor del borde de absorción de una capa interna del átomo. La escala de energía es relativa al centro del borde de absorción.

XAS es una técnica que se utiliza en ciencia de materiales e ingeniería, materia condensada y molecular, química, ciencias de la tierra, y biología. En particular, ésta es única en cuanto a la sensibilidad de la estructura local atómica [11]. Esta técnica requiere que la energía del haz pueda sea ajustable; además, los límites de detección no son tan buenos comparados con otras técnicas, por lo que es necesaria una alta intensidad del haz para mejorar los límites de detección [12], esto solo se puede realizar en una instalación del tipo sincrotrón.

## 4.2. Difracción de Rayos X (XRD)

La difracción de rayos X o XRD es una técnica analítica que proporciona información sobre de la estructura atómica y molecular cristalina de una muestra, en este caso los átomos presentes en el cristal causan una difracción de los rayos X incidentes en diferentes direcciones específicas. Al medir los ángulos e intensidades de los haces difractados, en principio es posible recrear una imagen tridimensional de la densidad de electrones en el cristal. De esta densidad electrónica se pueden determinar las posiciones promedio de los átomos, así como los enlaces atómicos, además de otra información. En la Figura 3 se muestra esquemáticamente el arreglo experimental en la difracción de rayos X.

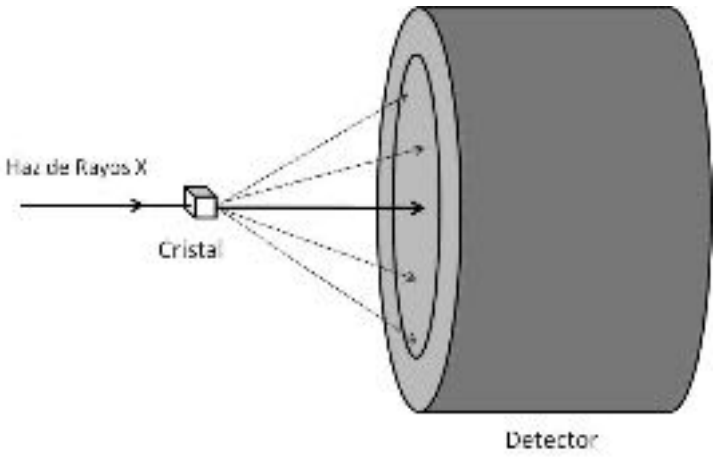



**Figura 3.** Arreglo experimental típico para la difracción de rayos X, este arreglo se utiliza normalmente para monocristales así como en la cristalografía de macromoléculas; en este arreglo se explota la llamada difracción de Laue.

En el método de difracción de polvo, es decir de sustancias policristalinas, se utiliza un arreglo experimental un poco diferente. En ese caso el detector tiene menor área, pero tiene libertad de movimiento y puede realizar un barrido en el ángulo de difracción, véase la Figura 4.

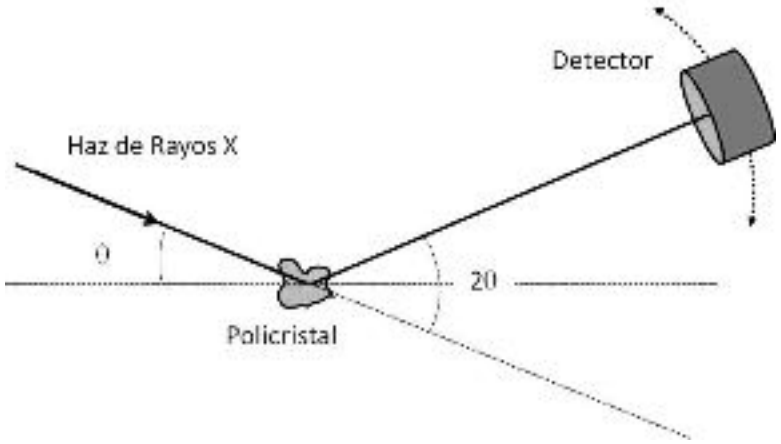



**Figura 4.** Arreglo experimental normalmente utilizado para la técnica de difracción de un material policristalino (difracción de polvo).

De los experimentos se obtienen los llamados patrones de difracción, para ejemplificar esto, dependiendo del tipo de cristal que se analiza se pueden obtener los patrones de difracción que se muestran en la Figura 5.

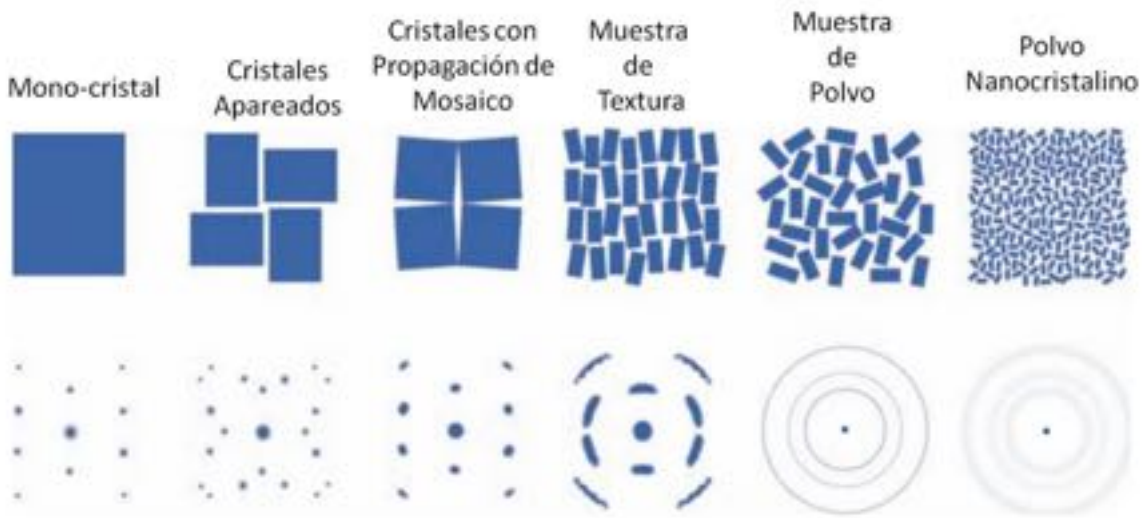



**Figura 5.** Ejemplos de diferentes patrones de difracción de rayos X para distintas muestras cristalinas **[10]**.

Existe una amplia gama de aplicaciones de esta técnica, por mencionar algunas, se tienen aplicaciones en la química, en la ciencia de materiales, en la mineralogía y metalurgia, y en la cristalografía de macromoléculas orgánicas (por ejemplo el ADN).

En este caso, cómo en los anteriores, los resultados en el uso del sincrotrón son superiores a cualquier fuente de rayos X usual. En cuanto a las aplicaciones industriales concierne, la intensidad del haz en el sincrotrón permite una alta resolución para resolver la estructura completa de macromoléculas. Otra ventaja del sincrotrón es la implementación de técnicas como la dispersión anómala de rayos X, en la que se realiza la difracción de rayos X a una longitud de onda específica, normalmente en la vecindad del borde de absorción de uno de los elementos presentes en la muestra; obteniendo así un estudio de las diferencias nanométricas de las estructuras.
Incluso, al tener una alta intensidad del haz de rayos X, las muestras se pueden colocar bajo condiciones o atmósferas especiales sin que el haz se atenúe considerablemente, por ejemplo, se pueden estudiar los cambios de fase en las estructuras cristales bajo altas presiones al colocar las muestras en celdas *anvil* de diamante; o estudios de temperatura al colocarlos en hornos o enfriadores criogénicos [10].

## 4.3. Espectroscopía de Fotoemisión de Electrones (XPS)

La espectroscopía de fotoemisión de electrones (XPS, por sus siglas en inglés *X-ray Photoelectron Spectroscopy*) es una técnica que consiste en irradiar una muestra con rayos X monoenergéticos y analizar la energía de los electrones que se emiten. Se dice que es una técnica superficial porque los electrones que se emiten provienen de una profundidad, de la muestra, de algunas decenas de Angstroms ($10^{-10}$ m) [13]. En la Figura 6 se muestra esquemáticamente el típico arreglo experimental dedicado a la técnica de XPS.

Los electrones provienen de las capas internas de los átomos del material, al analizar su energía es posible saber de qué átomo provienen, así como el estado químico en que se encuentra. Esta técnica es muy útil para encontrar la composición elemental de la superficie, elementos contaminantes en la superficie, el estado químico o electrónico de cada elemento superficial, además se pueden encontrar las composiciones elementales de perfiles de profundidad. Un espectro típico se muestra en la Figura 7, en estos espectros se puede apreciar cómo cambia la energía de amarre de electrones de la capa interna del átomo para diferentes estados de oxidación del cobre.

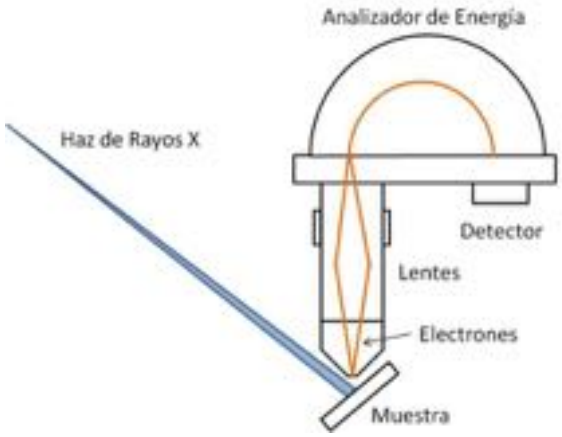



**Figura 6.** Esquema del arreglo experimental de XPS. El analizador se mantiene a una diferencia de potencial constante, a la entrada de éste se tiene una diferencia de potencial que varía para realizar el barrido en la energía cinética de los electrones.

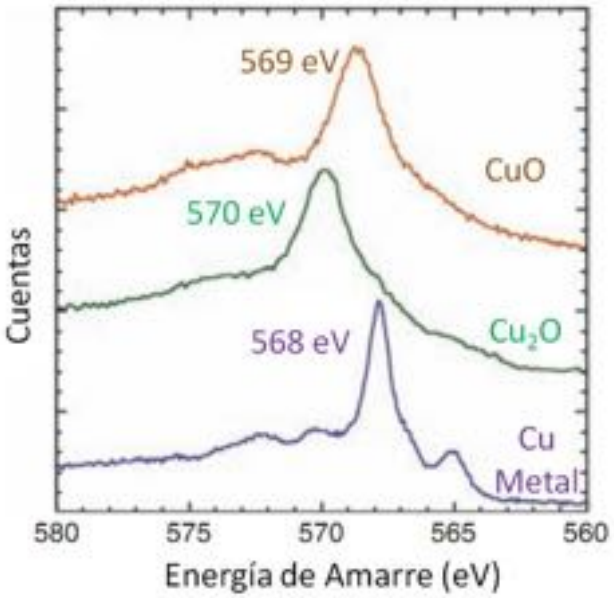



**Figura 7.** Diferentes espectros de XPS, en los que se nota claramente los diferentes estados de oxidación del Cobre **[14]**.

XPS en una técnica sencilla pero de gran alcance, tiene un sinfín de aplicaciones, en particular, algunas de las aplicaciones industriales en adhesivos, agricultura, automotriz, baterías, biomateriales, catálisis de superficies, cosmética, energía, pintura, mineralogía, aceros, y lubricantes.

Al usar un sincrotrón para la técnica XPS, se tienen grandes ventajas ante los instrumentos convencionales de XPS. La principal ventaja es el hecho de poder ajustar la energía del haz incidente y la polarización de los fotones, de esta forma se pueden explorar y hacer más evidentes los estados químicos de las muestras. Otra clara ventaja es la intensidad, al tener una gran intensidad de rayos X en el sincrotrón, se pueden realizar experimentos de XPS en atmósferas controladas y estudiar en tiempo real las reacciones de los elementos presentes en dichas atmosferas sobre las superficies, por ejemplo en la catálisis. Mientras que en los otros arreglos de XPS sólo se pueden realizar los experimentos en ultra alto vacío.

## 4.4. Tomografía de Rayos X y Estructura Química

Mediante el uso de rayos X se puede obtener una estructura tridimensional interna de una forma no destructiva. Un haz de rayos se hace pasar a través de una muestra, debido a la intensidad diferente de absorción por cada uno de los componentes en la muestra, se forma un contraste que al ser detectado forma una imagen. Se pueden utilizar diferentes mecanismos de contraste, por ejemplo de fase, de efectos de dicroísmo, de absorción y de fluorescencia de rayos X. En las líneas de haz de un sincrotrón, el arreglo más utilizado en la microscopía de rayos X es el de STXM (*Scanning Transmission X-ray Microscopy*). Este arreglo experimental se muestra en la Figura 8.

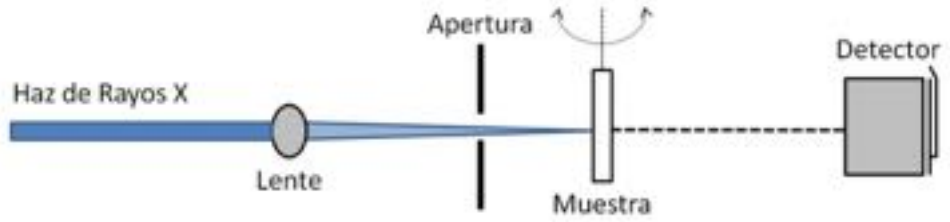



**Figura 8.** Esquema simplificado del arreglo experimental para la microscopía de rayos X tipo STXM.

Esta técnica es bastante utilizada en muestras biológicas, en donde se puede obtener tanto una buena calidad estructural como información de los elementos presentes en la muestra. La estructura elemental se puede obtener usando el contraste de absorción, al tener un haz monoenergético y ajustable, se pueden aprovechar los distintos bordes de absorción de los elementos, y así inducir un contraste diferente para cada elemento atómico presente. Por ejemplo, en la Figura 9 se muestran imágenes, obtenidas por STXM, de glóbulos rojos infectados por malaria.

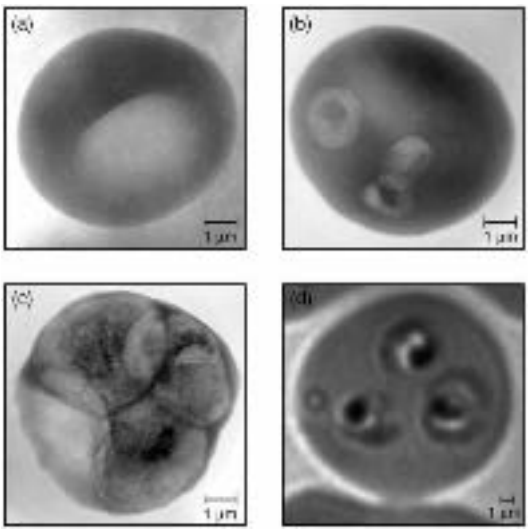


**Figura 9.** Imágenes de glóbulos rojos infectados por malaria, obtenidas en el sincrotrón ALS de Berkeley, CA. La imagen (a) muestra un glóbulo sano, en (b) se muestra uno recién infectado, y en (c) se muestra el eritrocito a 36 h después de la infección; la imagen (d) muestra la comparación obtenida con un microscopio de luz visible **[15]**.

Además de las aplicaciones biológicas, la técnica tiene bastantes aplicaciones industriales, por ejemplo en la industria de los semiconductores [16], en la *sección 3* se darán otros ejemplos claros de este tipo de técnica en la industria.

## 4.5. Microscopía Infrarroja

El espectro de la radiación sincrotrón incluye la luz infrarroja. El haz infrarrojo se dirige directamente hasta un microscopio de infrarrojos, en donde se analiza la muestra. Esta puede ser analizada mediante estudios de reflexión, de transmisión, entre otros. En la Figura 10 se muestran los primeros dos.

Las áreas de aplicación comprenden la geología y mineralogía, ciencia ambiental, biología y medicina, ciencia de materiales, ciencia forense y de preservación en museos y patrimonio cultural.

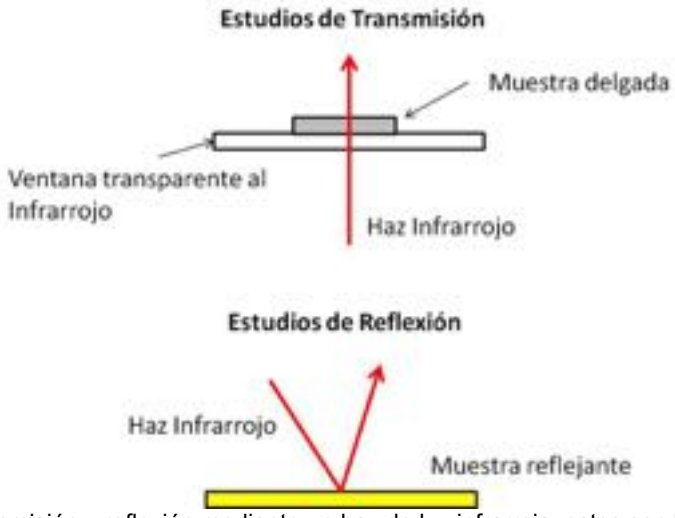



**Figura 10.** Estudio de transmisión y reflexión mediante un haz de luz infrarroja, estos son los principales arreglos pero existen otras técnicas.

En específico, se pueden estudiar diferentes tipos de muestras, por ejemplo, se pueden estudiar los modos intermoleculares de líquidos microconfinados; se pueden estudiar muestras atmosféricas e interestelares mediante la identificación de sus modos rotacionales y vibracionales; estudiar las frecuencias bajas de moléculas biológicas; estudiar la dinámica molecular de la transferencia de energía entre reactivos y solventes en un medio, así como otros sólidos y materiales [17]. La naturaleza de la luz infrarroja hace que la técnica sea especialmente sensible a materiales orgánicos.

## 4.6. Dispersión de Rayos X a Ángulos Pequeños (SAXS)

La dispersión de rayos X a ángulos pequeños o SAXS (*Small-Angle X-ray Scattering*) es una técnica de dispersión elástica de rayos X (con longitudes de onda típicamente entre los 0.1 nm y 0.2 nm) por una muestra que tienen inhomogeneidades al nivel de nanómetros (también llamadas dimensiones coloidales que varían desde decenas a miles de Angstroms). Cualquier proceso de dispersión es caracterizado por una ley recíproca, la cual indica la relación inversa entre el tamaño de la partícula y el ángulo de dispersión, es decir, a mayor tamaño de partícula menor será el ángulo de dispersión y viceversa. Las dimensiones coloidales son muchísimo más grandes que la longitud de onda de los rayos X por lo que hace que el intervalo angular en que se da la dispersión sea muy pequeño; por esto la dispersión se detecta a ángulos muy bajos,

alrededor de 0.1º [18]. SAXS es una técnica especialmente útil en áreas como macromoléculas biológicas, polímeros y sustancias inorgánicas, tiene una buena ventaja sobre otras técnicas de difracción debido a que en este caso no es necesarios que las muestras presenten una estructura cristalina.

El arreglo experimental es parecido al de la difracción de la Figura 3, pero como el ángulo de dispersión es tan bajo, el detector se posiciona lejos de la muestra, en el orden de algunos metros. En principio, al analizar el patrón de difracción es posible obtener la estructura de la muestra, por ejemplo la que se muestra en la Figura 11.

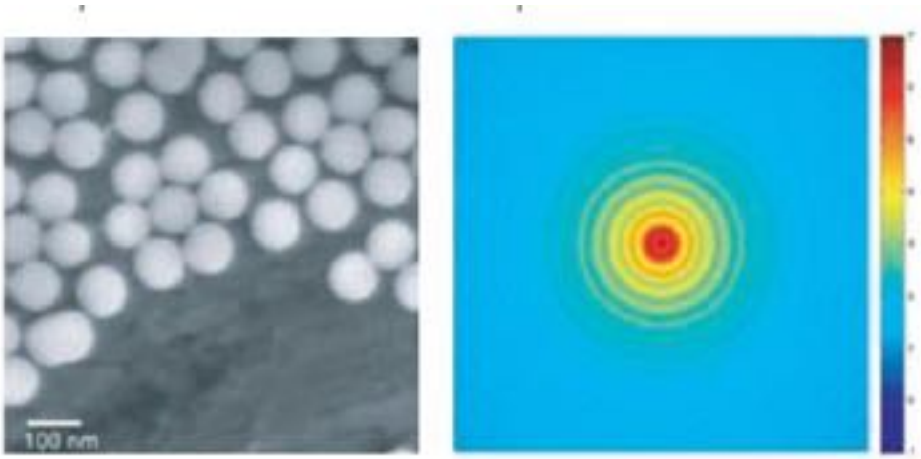



**Figura 11.** Señal de SAXS de un arreglo de esferas de $SiO_2$, todas con el mismo diámetro nominal de 80 nm **[10]**.

Como otras técnicas aquí presentadas, SAXS no es nueva (1920). Pero, con el uso de fuentes convencionales de rayos X, la divergencia del haz y la limitación de solo usar una longitud de onda para cada arreglo, hacen que en la práctica la técnica de SAXS tenga muchas dificultades para llevarse a cabo. Dichas restricciones, sin embargo, han sido desplazadas por las ventajas que presentan los rayos X provenientes de un sincrotrón; desde su implementación en las instalaciones de sincrotrón la técnica SAXS se ha visto rejuvenecida, resultando una técnica bastante solicitada en las distintas fuentes de luz sincrotrón alrededor del mundo [19].

# 5. CASOS DE ESTUDIO

Como se ha venido mencionando, existen numerosos casos de aplicaciones industriales en un sincrotrón, aunque debido a que la mayoría son propiedad intelectual de las mismas empresas que las realizan, éstos permanecen confidenciales, y es difícil tener acceso a los mismos. Sin embargo, con la finalidad de promover las aplicaciones industriales de cada sincrotrón, en algunas instalaciones de este tipo existe cierto acceso a algunos casos de estudio.

La profundidad con que se dan a conocer los casos de estudios varía, dependiendo de la negociación con la empresa correspondiente; en base a esto, algunos ejemplos se muestran muy completos, hay otros en los que casi no se saben los detalles, otros en los que se menciona explícitamente la empresa que realizó la investigación y algunos en los que no se menciona por confidencialidad.

Los sincrotrones de los que se logró obtener información acerca de las colaboraciones que han tenido con la industria fueron los siguientes:

| Sincrotrón | País | Sincrotrón | País |
|---|---|---|---|
| AS<br>Australian Synchrotron | Australia | LNLS<br>Laboratório Nacional de Luz Síncrotron | Brasil |
| CLS<br>Canadian Light Source | Canadá | MAX-II | Suecia |
| ALBA | España | SLS<br>Swiss Light Source | Suiza |
| ESRF<br>European Synchrotron Facility | Francia | Diamond | Inglaterra |
| ANKA<br>Angströmquelle Karlsruhe | Alemania | ALS<br>Advanced Light Source | EUA |
| BESSY II | Alemania | APS<br>Advanced Photon Source | EUA |
| PETRA III<br>Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage III | Alemania | SSRL<br>Stanford Synchrotron Radiation Lightsource | EUA |
| Elettra | Italia | SPring-8<br>Super Photon Ring 8GeV | Japón |

Cabe mencionar que dichos estudios se obtuvieron directamente de diversas fuentes públicas, incluyendo los sitios de internet de los sincrotrones y artículos publicados en revistas científicas y de tecnología, así como por archivos que nos fueron compartidos por las oficinas de vinculación de los mismos y personal experto, por lo tanto es claro que no contamos con ninguna propiedad intelectual de los casos de estudio que aquí se exponen.

Para mostrar los casos de estudio, se decidió dividirlos en las áreas y rubros que se muestran en la figura. Además, en este trabajo se proporcionarán algunos ejemplos de estudios para la conservación de patrimonio cultural.

Áreas y rubros de los ejemplos que se muestran en este catálogo.

## 5.1. Agro-alimentos

El uso de la luz de sincrotrón ha favorecido el mejoramiento de los procesos de manufactura de alimentos y la calidad tanto de los productos agrícolas como los productos finales disponibles en el mercado. La industria alimentaria se han apoyado en las técnicas de sincrotrón para la caracterización y análisis preciso de sus productos, además de recientemente comenzar a utilizar la luz de sincrotrón para monitorear los procesos de fermentado y procedimientos de horneado por medio de técnicas como la microtomografía de rayos X de alta resolución. Se encontraron algunos ejemplos en estas áreas industriales, como los que se muestran a continuación.

### 5.1.1. Alimentos

• **Amenaza de aluminio a la producción alimentaria.** Un tercio de las tierras productoras de alimentos se ha perdido en los últimos 40 años, colocando la producción alimentaria en peligro. Investigadores de la Universidad de Queenslan descubrieron cómo el aluminio, un resultado tóxico de la acidificación del suelo, actúa de forma perjudicial en crecimiento de las plantas.

Los suelos ácidos cuestan millones de dólares al año en la producción, aunque la degradación del suelo se produce de forma natural, se agrava por las actividades agrícolas. Utilizando el microscopio de rayos X TwinMic, en Elettra, se determinó que el aluminio se acumula en las puntas de las raíces y ejerce un efecto tóxico en las células necesarias para el crecimiento de la raíz. Por ejemplo, los resultados se pueden aplicar en mejorar los métodos de fitorremediación de los suelos.

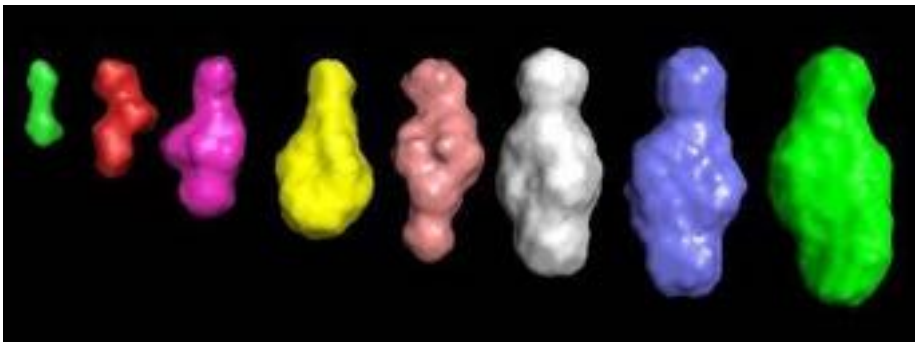
*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: TwinMic*
*Técnica: micro-Fluorescencia de Rayos X*

**• Estudio de la relación entre la calidad de los vinos y la cantidad y forma de los taninos.** Cualquier persona que sepa algo de vinos sabe la importancia que tienen los taninos en la calidad del vino, particularmente en los vinos tintos. Sin embargo, aún no se entiende completamente cómo los taninos influyen en el sabor del vino, en el añejamiento, el color y conservación del color. El vino es una mezcla muy compleja y en evolución de diversos compuestos, en realidad nadie sabe cómo los taninos (de los cuales hay muchos tipos) interactúan con otras moléculas en el vino como las antocianinas (pigmentos), proteínas y polisacáridos (provenientes de las paredes celulares de la uva). Es por esto que algunos investigadores australianos, en 2013 unieron fuerzas para determinar el tamaño y la forma de una variedad de sistemas de taninos del vino y realizar un modelaje. El objetivo fue obtener información preliminar sobre el tamaño y la estructura de los taninos, y desarrollar las técnicas de purificación y de dispersión de rayos X a ángulos pequeños (SAXS) en conjunto para permitir a más estudios en profundidad.

Los taninos son pequeñas moléculas que dispersan los rayos X muy débilmente, por lo que las potencias de los haces en el sincrotrón son esenciales para el trabajo. Además con la técnica SAXS se puede cubrir el amplio intervalo de tamaños moleculares y de partículas presentes en los vinos, incluyendo cualquier tipo de agregados o precipitados que podrían influir en la calidad del vino, capacidades que ninguna otra técnica posee. Los descubrimientos en el Sincrotrón Australiano contribuirán a un proyecto de investigación extensiva para la mejora del vino, desarrollado por la industria vinícola en ese país.

*Sincrotrón: AS.*

*Línea: SAXS / WAXS - Small / Wide angle X-ray scattering.*
*Técnica: SAXS.*



En la figura se muestra los modelos que se tienen de los diferentes taninos presentes en los vinos de la uva.

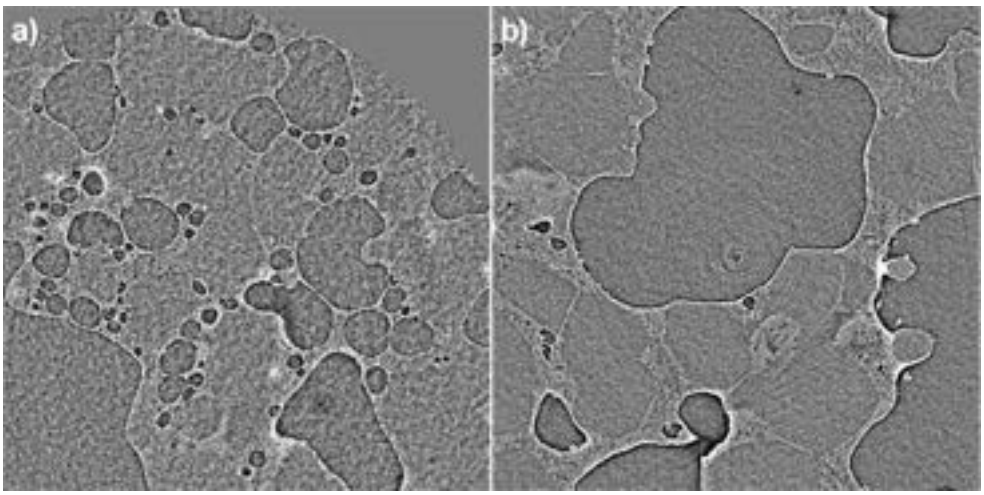
• **Estudio de un nuevo método desarrollado de precipitación de bromo en soluciones de potasa para fertilizantes.** La compañía canadiense **Mosaic Belle Plaine** es una compañía dedicada a la producción y distribución global de potasa para la agricultura y la industria. La compañía desarrolló un proceso novedoso para la producción de potasa, por medio de precipitación para separar el bromo de las soluciones de salmuera de potasa; sin embargo requería de un conocimiento más detallado del proceso para asegurar un control de calidad estricto y mantener su estándar de producción.

Los investigadores de la compañía acudieron al sincrotrón CLS, donde por medio de la espectroscopía de absorción de rayos X se mapearon las trayectorias químicas de la precipitación del bromo para así poder observar con detalle qué sucede en cada fase del proceso.

El estudio no sólo permitió entender este proceso sino que dio una potencial posibilidad de caracterizar el bromo en otros procesos industriales y ambientales. Este trabajo aumentó el conocimiento que se tiene acerca de la formación de complejos de bromo; dicho conocimiento podría ser utilizado para estudiar la estabilidad de estos precipitados, lo que permitirá mejorar los procedimientos de almacenaje o tratamientos especiales del producto.

*Sincrotrón: CLS.*
*Línea: N/A.*
*Técnica: XAS.*

• **Producción y distribución de helados para preservar su sabor y consistencia.** ¿Qué hace el helado suave y cremoso? La microestructura de los cristales de hielo y las burbujas de aire es fundamental para la calidad de los helados y las propiedades sensoriales. El helado es, por supuesto, inherentemente inestable, y los aumentos de temperatura durante el transporte, el almacenamiento o incluso a la salida del congelador del cliente pueden jugar un factor en la destrucción de la microestructura de pequeños cristales de hielo, lo que conduce a la recristalización y una estructura más gruesa. **Unilever** utiliza imágenes de tomografía de alta resolución para caracterizar la microestructura del helado.



Imágenes de la microestructura del helado. Se encontraron diferentes tamaños de burbujas en helados tratados a diferentes ciclos de temperatura.

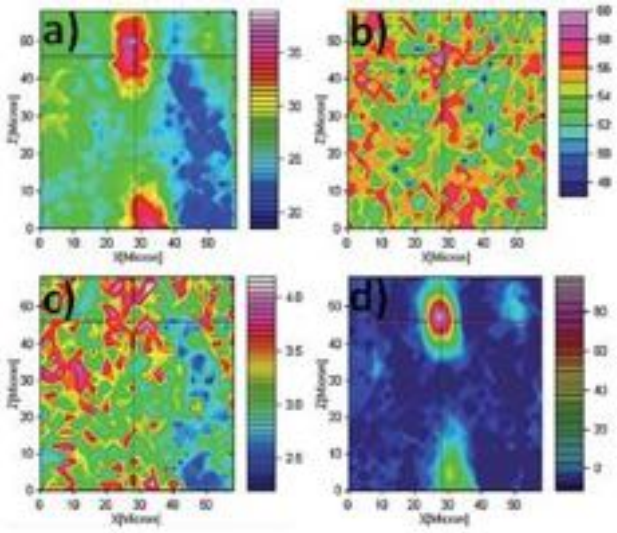
En la investigación de Unilever en el sincrotrón ESRF se encontraron claramente las diferencias de tamaño de los cristales de hielo y de las burbujas después de ciclos de temperaturas. Lo que podría conducir a mejorar el proceso y tener mejores productos que sean más resistentes a estos efectos [20].

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID-19 - Three-dimensional X-ray Imaging Beamline.*
*Técnicas: Microscopía Infrarroja; EXAFS.*

• **Biopolímeros para la industria alimenticia.** En la industria alimenticia se utilizan bastante las matrices y películas de polímeros, debido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad; además de asegurar la consistencia del producto y su sabor placentero. La morfología y caracterización estructural de los compuestos poliméricos a escalas miscroscópicas es esencial para entender sus propiedades mecánicas, químicas y físicas. Los problemas principales al investigar estas estructuras son debidas a la ausencia de propiedades de contraste que pudieran diferenciar los varios componentes en el material, a menos que se generen mediante marcadores fluorescentes artificiales.

En Elettra, se utilizó la microscopía infrarroja para correlacionar el análisis químico con la distribución espacial; además debido la alta brillantes de la radiación sincrotrón se obtuvo una resolución espacial de algunas micras sin el uso de marcadores. En colaboración con la Universidad de Trieste, esta técnica se aplicó en el estudio de depósitos de malta dextrina/gelatina, obtenida mediante la evaporación a diferentes temperaturas, lo que conduce a una película compuesta. No obstante, los resultados revelaron que, a escala microscópica, los polímeros no muestran una morfología uniforme, y que existen grandes zonas de gelatina pura y de malta dextrina presentes en diferentes áreas. Este tipo de experimentos demuestran que la instrumentación de IR en Elettra puede ser utilizada para obtener resultados significantes, sin afectar químicamente en los procesos de formación de películas de polímeros compuestos. Estos estudios pueden conducir a una mejora sustancial en los productos alimenticios que utilizan componentes como los biopolímeros [21]

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: SISSI - Synchrotron Infrared Source for Spectroscopy and Imaging.*
*Técnica: Espectromicroscopía FTRI.*

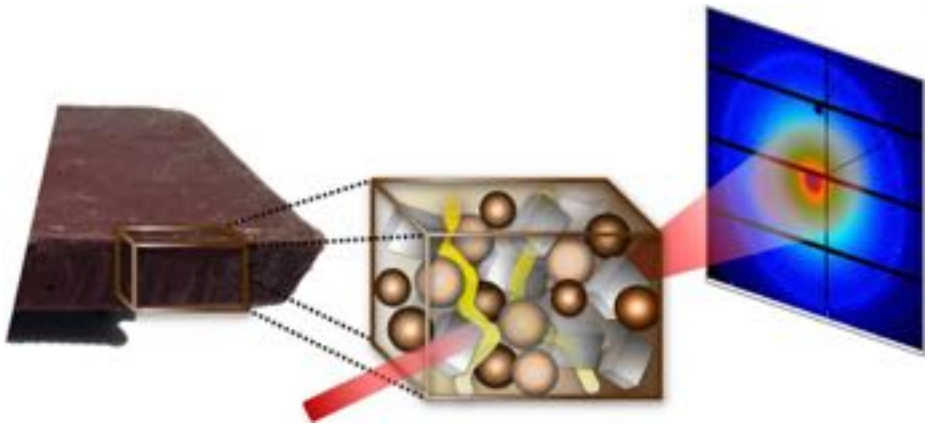



Mapas de densidad que indican la presencia de gelatina (a), malta dextrina (b), el compuesto (c) y agua (d) en la misma muestra.

• **Prevención del brote de grasa en el chocolate.** Todos hemos visto el "brote de grasa" en el chocolate, se trata de esa capa blanca no deseada que en ocasiones se forma en la superficie del chocolate. Esta capa es inofensiva, pero sin lugar a dudas un poco desagradable. Es así como la empresa **Nestlé**, junto a la Universidad Tecnológica de Hamburgo, se dedicaron a investigar sobre este fenómeno utilizando el sincrotrón en DESY (Alemania), PETRA III.

El brote de grasa se forma cuando las grasas líquidas, tales como la mantequilla de cacao, migran a la superficie del chocolate y se cristalizan allí. Con la ayuda de la técnica SAXS, los científicos han podido observar los procesos subyacentes en tiempo real. Para ello, investigaron el comportamiento de las diferentes combinaciones de los principales componentes del chocolate, que son el cacao, azúcar, leche en polvo y manteca de cacao. Las muestras se molieron en un polvo muy fino con al fin de acelerar los procesos, y se irradiaron con el haz de rayos X. Se realizaron varios experimentos para determinar el mecanismo de migración de grasa dentro del chocolate.

Los resultados permitirán a la industria alimenticia desarrollar métodos concretos para reducir el brote de grasa. Por ejemplo, el reducir la porosidad del chocolate durante la manufactura, de tal forma que la emigración de grasa se realice lentamente.



Representación esquemática de la obtención de un patrón de dispersión SAXS de un trozo de chocolate

Las observaciones permiten a la industria alimentaria para el desarrollo de enfoques concretos para la reducción de la floración de grasa.

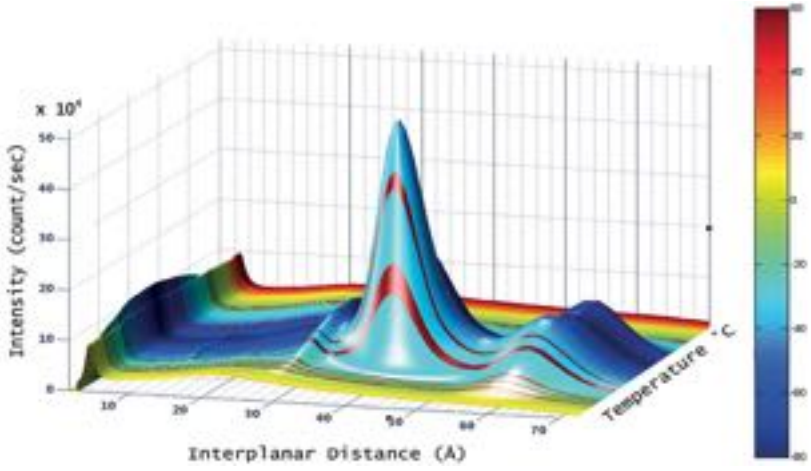
*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P03 - MINAXS.*
*Técnica: SAXS.*

• **Aceites vegetales para la conservación de alimentos.** Uno de los métodos más importantes para conservar alimentos es por medio de la congelación, por este medio se pretende que el alimento preserve su apariencia y valor nutricional originales incluso después de un almacenamiento prolongado. Sin embargo, el proceso de congelamiento modifica la estructura del alimento, especialmente en los aceites y grasas, por lo que es difícil preservar las propiedades organolépticas. El conocimiento de la composición química de aceites y grasas utilizadas en la producción alimenticia fue el punto de inicio para muchos estudios científicos que se realizaron en Elettra, esto para entender las condiciones óptimas de los procesos de producción industriales.

Investigadores de Elettra, en colaboración con el departamento de Ciencia Alimenticia de la Universidad de Udine, estudiaron la estructura cristalográfica de los aceites de girasol, palma y oliva, todos estos utilizados comúnmente en los alimentos. Sus estudios revelaron la naturaleza de ciertos cambios estructurales que ocurren cuando las grasas son sometidas a cambios repentinos y drásticos de temperatura.

La velocidad de los procesos de congelamiento, determinan directamente la alteración de las propiedades químicas y físicas de los alimentos. La cristalización de las grasas, la cual ocurre durante la congelación, tiene grandes implicaciones en la conservación, en la calidad y valor nutricional. Es así que los socios industriales están bastante interesados en desarrollar procesos de congelación avanzados. Esto podría contribuir a la cristalización efectiva de aceites, disminuyendo la velocidad de oxidación, la cual tiene que ser controlada por sus efectos adversos en las propiedades organolépticas de los alimentos [22].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: XRD1 - X-Ray Diffraction 1.*
*Técnica: XRD.*



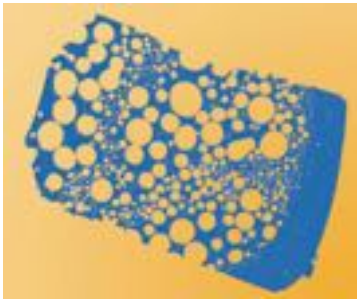

Representación tridimensional del aceite de girasol en función de la temperatura, y la separación de cadenas moleculares y placas, expresadas en cuentas de rayos X.

• **Propiedades organolépticas de comida.** Las diferentes consistencias de los tipos de pan están determinadas principalmente por su estructura morfológica, en particular el tamaño, forma y distribución de los poros de aire en la masa. La mezcla de ingredientes tiene mucha menos influencia de lo que uno podría pensar. El placer en crujido de una barra de chocolate, por ejemplo, proviene de la geometría y tamaño de las burbujas de aire presentes en su estructura. Más en general, la propiedad organoléptica de los alimentos se deriva fuertemente de su microestructura. Por tanto, es importante ser capaz de examinar ésta con los instrumentos adecuados y eficaces.

En el sincrotrón Elettra, utilizando técnicas de microtomografía de rayos X, ha sido posible examinar los diferentes niveles de porosidad de diferentes tipos de pan, y el grosor de la masa entre los poros mediante procedimientos no invasivos. Los investigadores compararon los datos obtenidos con las propiedades mecánicas como la elasticidad, peso específico y el coeficiente de irregularidad de los poros. Además, se pudo estudiar la estructura del queso, en particular el contenido proteínico. La elasticidad, la resistencia al desmoronamiento y la consistencia dependen básicamente del tamaño de las acumulaciones de grasas y la regularidad de la matriz de proteínas. Se mostró que el queso con una matriz pequeña y glóbulos uniformes de grasa es más elástico que el queso con estructura más abierta y con mayor número de cavidades irregulares. Usando técnicas similares se estudiaron las microestructuras internas de varios productos como la pasta, chocolate y granos de café.

El entendimiento de las correlaciones entre las propiedades organolépticas de la comida y su estructura permite a las compañías mejorar los procesos de producción y diseño de mejores productos, tanto desde en su preservación como de calidad [23].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: SYRMEP - SYnchrotron Radiation for MEdical Physics.*
*Técnica: Microtomografía de rayos X.*



Reconstrucción tomográfica de una sección axial de una barra de chocolate con leche, observada con luz sincrotrón.

### 5.1.2. Agricultura y ganadería

**• Estudio del sistema de transporte de agua dentro de la vid y los efectos de la sequía.** [24] El desarrollo de estrategias de uso de agua en los cultivos de la vid es de gran importancia para lograr un desarrollo sustentable de la industria vitivinícola. Para lograr esto se necesita tener información acerca de cuánta sequía pueden soportar las diferentes especies de vid, y cuáles son las más adecuadas para cada circunstancia ambiental. Por lo que un conjunto de empresas de la industria de la uva de California incluyendo, **Sun-Maid, Chateau St. Michelle, Welch's, Gallo** y **J.Lohr** junto con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos han financiado las investigaciones hechas en la línea 8.3.2 del sincrotrón ALS con el fin de analizar y conocer el sistema de transporte de agua dentro de la planta de la vid.

Utilizando la técnica de tomografía de rayos X de alta resolución se pudieron observar los efectos de la sequía en la red xylem de transporte de agua de la planta: al aumentar la sequía, las vesículas y conexiones de esta red son más susceptibles a romperse. Sin embargo, se encontró que algunas especies de vid pueden reparar esta red, haciéndolas más resistentes de manera natural a la sequía. Otro de los hallazgos fue que algunas especies poseen mayor número de "células puente", lo que genera una mejor conectividad en el sistema vascular de la planta, haciéndola más resistente a patógenos externos.

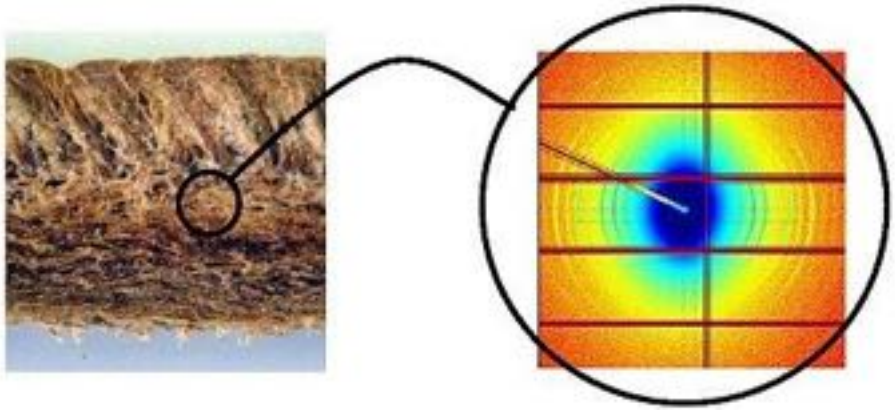
Esta investigación permitirá el diseñar estrategias para el cultivo sustentable de la vid para las diferentes condiciones de sequía que se presenten, seleccionando las especies propicias y los cuidados adecuados necesarios.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 8.3.2 - Hard x-ray microtomography.*
*Técnica: Microtomografía.*

• **Proceso para hacer más resistente la piel de oveja.** La piel se usa en un buen número de productos, como en las industrias de vestido, automotriz y de calzado. En particular, existe una fuerte y constante demanda de piel por parte de la industria de calzado. No obstante, debido a que la piel ovina tiene menor resistencia que la bovina, el uso de las pieles ovinas en la industria de calzado es prácticamente nulo.
La piel está mayoritariamente constituida por el colágeno fibrilar. La dispersión a ángulos pequeños o SAXS es una técnica de difracción de rayos X que puede ser utilizada para investigar la estructura y distribución del colágeno fibrilar. Recientemente, investigadores de Australia y Nueva Zelanda usaron el Sincrotrón Australiano para encontrar la estructura a escala nanométrica y estudiar las diferencias entre la piel ovina y la bovina. Se encontró que existe un fuerte relación entre la orientación de las fibrillas de colágeno y la resistencia al desgarre. Las pieles más resistentes tienen una mejor alineación de las fibrillas de colágeno paralelas a la superficie de la piel, mientras que las más débiles tienen más fibrillas perpendiculares. Basados en estas investigaciones los científicos están desarrollando un proceso para hacer la piel de oveja más resistente [25].

Si este proceso se utilizara en convertir tan sólo la mitad de la producción anual de la piel de oveja de Australia a cuero adecuado para el calzado, podría añadir 118 millones de dólares al año para el valor de los productos de ovejas australianas. Un cálculo similar se aplica al caso de Nueva Zelanda aumentando el valor de la industria ovejera del país en unos 159 millones de dólares al año.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: SAXS / WAXS - Small / Wide angle X-ray scattering.*
*Técnica: SAXS.*



Patrón de dispersión proveniente del colágeno de la piel ovina, de éste se puede obtener información sobre el ordenamiento y tamaño de las fibrillas de colágeno.

• **Convirtiendo arcillas rusas en filtros de nitrógeno y fertilizantes naturales.** La agricultura moderna requiere una producción de alta eficiencia de fertilizantes que aseguren comida sana y no dañen el medio ambiente.

La compañía **NanoGeo Finland Oy** produce fertilizante natural basado en vermiculita, mineral geológico formado por silicatos de hierro o magnesio. La producción del fertilizante funciona con la utilización de nano-estructuras y propiedades del mineral, cuando la vermiculita se calienta, aumenta su capacidad de absorción de amonio.

Para entender los cambios estructurales que ocurren durante el calentamiento de la vermiculita, se llevó a cabo un estudio en PETRA III. Se utilizó la difracción de rayos X para medir las fases cristalinas, así como la difracción de polvo a diferentes temperaturas y presiones. Los resultados condujeron a la optimización de absorción de amonio, lo que se reflejó en una mejora del fertilizante y en la reducción del consumo de energía en los procesos realizados por la empresa

*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P02 - Hard X-ray Driffraction.*
*Técnica: XRD.*

• **Identificación de elementos traza en el arroz.** El 30% de la producción agrícola de arroz en el mundo proviene de China. Recientemente se encontró que existe una alta concentración de arsénico en el subsuelo y mantos acuíferos de estas regiones agrícolas, estos existen de manera natural debido a actividad volcánica y la erosión de depósitos minerales, pero también contribuyen la contaminación, la quema de carbón y los pesticidas. Con el fin de saber si el arsénico presente en el subsuelo queda incorporado y acumulado en el arroz, en el sincrotrón DESY (PETRA III) de Alemania se estudiaron muestras de arroz provenientes de China y de Hungría. Se analizó la distribución de arsénico y otros oligoelementos presentes en los granos de arroz por medio la técnica de fluorescencia de rayos X. Esta técnica permite detectar concentraciones de elementos tan pequeñas como una partícula en cien mil millones.

Los estudios detectaron niveles significativos de arsénico a una profundidad de 80 micras dentro de los granos de arroz [26]. Se encontró también que el hervir el arroz, reduce los niveles de todos estos oligoelementos, el arsénico se redujo hasta en un factor de 8.

*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P06 - Hard X-Ray Micro Probe.*
*Técnica: Micro XRF.*

## 5.2. Energía y medio ambiente

En esta sección agrupamos las áreas de estudio que tienen que ver con el desarrollo y manejo sustentable de las fuentes de energía y su almacenamiento; aparte del desarrollo de nuevas tecnologías productos y procesos sustentables que dañen en menor medida el medio ambiente. La capacidad de análisis de las técnicas de luz sincrotrón es bastante útil para la industria de los energéticos: se utiliza para la evaluación de rocas de yacimiento, (porosidad, tortuosidad, etc.), en petroquímica para el análisis de hidrocarburos y derivados, aparte del desarrollo de catalizadores; además del desarrollo de nuevas baterías, de mayor eficiencia y mejor desempeño. Los sincrotrones ofrecen soluciones para el análisis de materiales contaminantes y el monitoreo de alta precisión de partículas presentes ya sea en el aire, el agua o el suelo gracias a su alta sensibilidad para detectar trazas de contaminantes.

### 5.2.1. Medio ambiente

• **Análisis del residuo del proceso de potabilización de agua, para su posible reutilización.** [27] La empresa **Sydavatten** potabiliza el agua proveniente del lago Bolmen para su uso humano. Para este proceso utiliza cloruro férrico, el cual permanece mezclado con el residuo orgánico después del proceso de potabilización.

Utilizando la técnica de EXAFS en el sincrotrón MAX II, se pudo estudiar la composición y estructura del residuo orgánico. Este estudio será utilizado para desarrollar un método efectivo y eficiente que permita separar y reciclar el cloruro férrico. Contribuyendo así a reducir los costos del proceso y generar un residuo orgánico que pueda ser utilizado en otras áreas.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I811 Materials Science.*
*Técnica: EXAFS.*

• **Equipo de monitoreo avanzado para conocer la calidad del agua.** Otro ejemplo de gestión ambiental y servicios de monitoreo es la experiencia del Sincrotrón Australiano con la compañía **Aqua Diagnostic Pty Ltd** (Melbourne, Australia). Esta compañía produce equipo de monitoreo avanzado para conocer la calidad del agua y consumibles para medir la demanda química de oxígeno (COD). La empresa está trabajando con el Sincrotrón Australiano para mejorar la calidad de sus sensores nanotecnológico PeCOD® mediante el aumento del proceso de manufactura.

Las pruebas convencionales de COD implican mucho tiempo y procedimientos intrínsecamente peligrosos y componentes altamente tóxicos como el mercurio y el ácido crómico. Por el contrario, el método de diagnóstico de la PeCOD® tarda sólo unos minutos y los subproductos son ecológicos.

El sincrotrón seguirá ayudando en el desarrollo de los sensores, al revelar cómo las condiciones de fabricación influyen en la estructura de fase a nano-escala. La innovación del método PeCOD® sustenta un gran potencial para la expansión global de la compañía, lo cual se reflejaría en una enorme ganancia para esta.

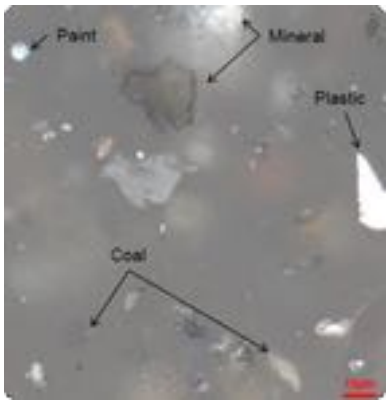
*Sincrotrón: AS.*
*Línea: Powder Diffraction.*
*Técnica: Powder Diffraction.*

Equipo de monitoreo para estudiar la calidad del agua de Aqua Diagnostic.

• **Sistema de monitoreo de aire para partículas microscópicas de carbón.** El problema de la emisión de polvo resultante de actividades como la minería del carbón y su transporte ha recibido mucha atención pública. De las partículas que se generan, la mayor preocupación son las que son demasiado pequeñas para ser expulsadas de forma natural de los pulmones. Existen diversas empresas que brindan servicios de monitoreo, una de ellas es **Coalbridge**, la cual tiene más de 25 años proveyendo con sus servicios a la industria del carbón.

Debido a la alta sensibilidad para distinguir pequeñas partículas de materiales naturales y artificiales (**Error! Reference source not found.**) del microscopio infrarrojo del incrotrón Australiano, la empresa de monitoreo está trabajando muy cerca de éste, principalmente para validar su nuevo sistema de monitoreo de aire para partículas microscópicas de carbón. El sistema de Coalbridge utiliza un arreglo óptico de alta resolución para discriminar entre partículas microscópicas de carbón y otras como polvo mineral, goma, hollín de escape de los automóviles o incluso fragmentos de plantas industriales. Las capacidades del sincrotrón están ayudando a validar la precisión del sistema.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: Infrared Microspectroscopy.*
*Técnica: Infrared Microspectroscopy.*



Identificación de materiales orgánicos e inorgánicos para la discriminación entre éstas por el sistema de monitoreo de Coalbridge.

**• Estudio de la regeneración de suelos contaminados mediante fitorremediación.** La rehabilitación de áreas en las que se realizaban actividades industriales siempre es un paso muy delicado para restaurar el equilibrio ambiental original.

La remediación de suelos contaminados es un tema actual y muy importante que está en evolución continua. Se trata de desarrollar métodos para limpiar el terreno y el agua subterránea de todo tipo de sustancias, las cuales una vez que penetran el suelo, alteran sus características y comprometen su uso.

El método más natural y eficiente para remediar las zonas contaminadas es el de crecer y luego cortar plantas, que puedan absorber y acumular las sustancia dañinas en sus hojas y raíces.

En Elettra, los investigadores lograron localizar elementos críticos como el cobre y plomo dentro de las muestras de plantas. Durante la investigación se combinaron técnicas analíticas y la luz sincrotrón (microrradiografía de rayos X y radiografía de contraste de fase). Estos resultados han tenido una importante contribución en el progreso de la selección de especies más eficientes.

En colaboración de la Universidad de Aquila (Italia) y la Universidad de Brno (República Checa), los investigadores en Elettra realizaron una investigación a mayor profundidad mediante la fluorescencia de rayos X mediante el sincrotrón, ésta técnica es la adecuada para encontrar las micro-concentraciones de estos elementos [28].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: SYRMEP - SYnchrotron Radiation for MEdical Physics.*
*Técnicas: X-ray Imaging; XRF.*

• **Estudio del comportamiento y localización de selenio derivado de procesos mineros en las zonas pantanosas.** Las zonas pantanosas fungen como filtros ecológicos, ayudando a limpiar el medio ambiente de toxinas; un caso particular es el proceso en el que la flora y fauna microbiana eliminan el selenio de aguas provenientes de procesos mineros, sin embargo este puede quedar atrapado en los sedimentos y plantas, afectando a las cadenas alimenticias del ecosistema.

La empresa **Lorax Environmental Services Ltd.** colabora en un estudio llevado a cabo en el sincrotrón CLS y financiado por la compañía **Teck Coal Ltd.** para determinar el comportamiento del selenio derivado de la minería de carbón en los sistemas pantanosos. Analizando distintas muestras del ecosistema, se pueden detectar las cantidades de selenio que puedan quedar presentes en los sedimentos, en plantas y en animales ovíparos, los cuales son susceptibles a acumular esta sustancia.

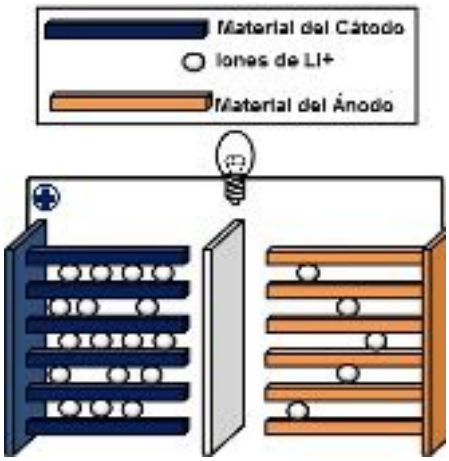
Con este estudio se podrá saber en qué niveles del ecosistema se queda acumulado el selenio, en qué cantidades y en qué formas. Esta información es clave para el diseño de estrategias de contención y biorremediación del medio que tengan un impacto mínimo en el ecosistema.

*Sincrotrón: CLS.*
*Línea: N/A.*
*Técnica: N/A.*

### 5.2.2. Baterías y Energías Renovables

• **Observación *in situ* de la intercalación de litio en una batería de Li-ion.** El $LiCoO_2$ es uno de los materiales de electrodos recargables más prometedores para baterías ligeras de energía de alta densidad. Muestra muchas propiedades favorables tales como buenas tasas de energía, baja auto-descarga y un ciclo de vida excelente, pero todavía hay muchas preguntas sin respuesta sobre el comportamiento electroquímico del material en capas. Uno de estos es la existencia y la estructura de la reacción final del componente $CoO_2$. Para responder a esta pregunta, se realizaron mediciones *in situ* de difracción de rayos X de alta resolución en el ESRF, con una batería funcional de Li-ion que tiene un electrolito de litio plástico y que fue construida con la tecnología de **Bellcore**. La particularidad de esta tecnología es una combinación de larga vida con una estructura totalmente flexible. Esto se logra mediante la incorporación de $LiCoO_2$ y grafito en láminas de polímeros que actúan como electrodos. Todos los cambios estructurales que se producen durante la intercalación de litio y des-intercalación fueron seguidos e interpretados para dar una mejor comprensión de los procesos electroquímicos, en particular, para caracterizar la fase del $CoO_2$. Resultados que se verán reflejados en un mejoramiento sustancial de esta tecnología.

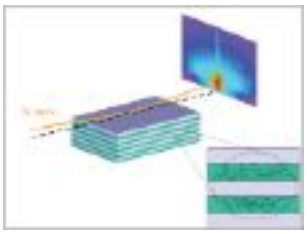
*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: BM16 - PX and SAXS/WAXS.*
*Técnica: XRD.*




Esquema de una batería de litio.

**•Estudio del cambio de morfología de polímeros orgánicos para celdas solares de nueva tecnología.** [29] Las celdas fotovoltáicas de silicio utilizadas en paneles solares tienen la particularidad de ser caras y difíciles de manufacturar en gran escala. El desarrollo de materiales fotovoltáicos orgánicos por parte de la empresa **UKOPV** como opción alternativa en la manufactura de las celdas supone la utilización de materiales menos dañinos al medio ambiente y una baja en los costos de los procesos de manufactura.

Estos materiales pasan por un proceso de recubrimiento de capas poliméricas semiconductoras el cual ve afectado por las variaciones de las condiciones en las que es llevado a cabo.



Un análisis in situ y en tiempo real de los cambios en la morfología del material durante el proceso de recubrimiento fue logrado utilizando las técnicas de difracción de rayos X en incidencia rasante (GIXD) y de dispersión de rayos X de incidencia rasante en ángulos pequeños, llevadas a cabo en el sincrotrón Diamond de Inglaterra. Estas técnicas son ideales para el sondeo nanométrico de la estructura de películas delgadas.

Este estudio permitió a la compañía desarrollar sistemas de control del material para definir la morfología más óptima para obtener la mayor eficiencia de la celda..

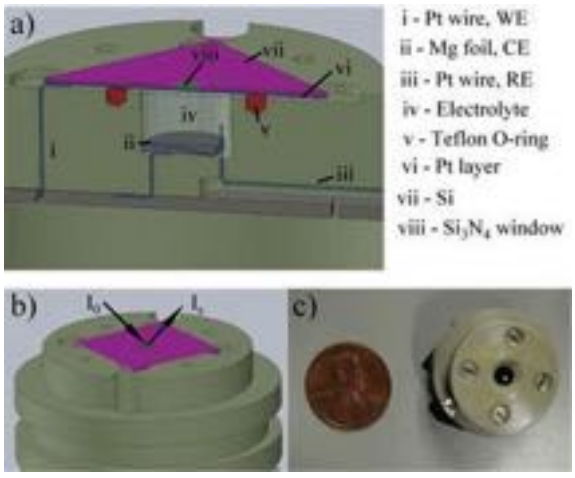
*Sincrotrón: Diamond.*
*Líneas: I07 - Surface and interface diffraction*
*I16 - Materials and Magnetism*
*I22 - Small Angle Scattering & Diffraction.*
*Técnicas: GIXD, GI-SAXS.*

• **Estudio del proceso electroquímico de reducción de electrolitos de magnesio para baterías de nueva generación.** [30] Uno de los objetivos actuales de la industria automotriz es el desarrollo de baterías de nueva generación alternativas a las de iones de litio, que tengan un mayor rendimiento energético y un tiempo de vida más largo. Uno de los materiales candidatos para la composición de esta nueva generación de baterías es el magnesio: es más denso que el litio, más seguro y tiene una carga de dos electrones dándole mayor capacidad volumétrica lo que significaría más eficiencia energética: más potencia en un menor tamaño. Para el desarrollo de baterías basadas en magnesio se necesitan diseñar nuevos electrolitos y con mejores propiedades que los existentes basados en litio.

Para este desarrollo, la multinacional **Toyota** está invirtiendo fuertemente en la investigación que se lleva a cabo en la línea 6.3.1 del sincrotrón ALS, donde se estudia el desempeño de las baterías de magnesio y sus procesos de degradación. El análisis de electrolitos de magnesio en laboratorios convencionales requiere de condiciones de alto vacío. Sin embargo, en este caso, las características del haz de luz de sincrotrón permiten realizar estos análisis *in* situ, donde se puede observar en condiciones operacionales el complejo proceso electroquímico de reducción del magnesio.

Gracias a estos estudios se está obteniendo información invaluable para el desarrollo de las baterías de nueva generación.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 6.3.1 - Magnetic Spectroscopy, Materials Science.*
*Técnica: XAS.*



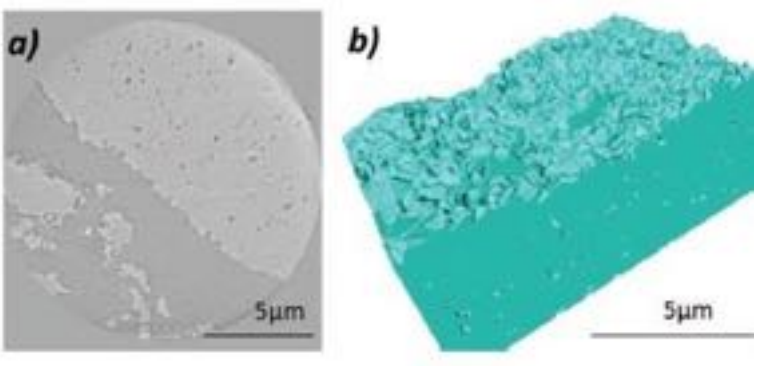

Corte transversal de la celda montada en el soporte de laboratorio para el análisis electroquímico *in situ* utilizando XAS.

• **Caracterización de la información obtenida de tomografías de baterías a diferentes escalas.** [31] Las baterías así como otros materiales de almacenaje de energía son un complemento esencial en el desarrollo de las energías renovables. El entender y conocer a detalle los procesos de operación y de falla de las baterías es clave para mejorar los procesos de manufactura y la creación de nuevos y mejores productos.

Análisis convencionales de las baterías (como por ejemplo microscopía de electrones) requieren de una preparación previa del material, lo que significa que limita la observación en condiciones reales del funcionamiento de las baterías. Por lo que la compañía **Xradia Inc.** Junto con algunas universidades británicas y estadounidenses, acudieron al sincrotrón SSRL para obtener información detallada de la microsetructura de las baterías a diferentes escalas y su comportamiento durante los procesos de carga y descarga por medio de análisis no destructivos y en condiciones operacionales reales.

Se extendió el análisis de laboratorio convencional de escala micrométrica al análisis a escala nanométrica realizado en la línea 6-2 del sincrotrón SSRL donde se obtuvieron tomografías utilizando microscopía de rayos X de transmisión en 3D (TXM), revelando imperfecciones entre las partículas del material. Con esta información precisa en 3D de la nanoestructura de estos materiales se pueden desarrollar nuevas generaciones de baterías.

*Sincrotrón: SSRL.*
*Línea: 6 - 2*
*Técnica: 3D TXM.*



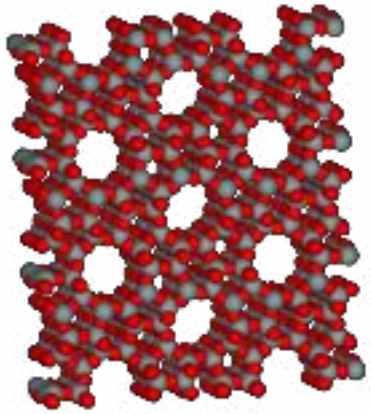

Corte transversal y tomografía en 3D de la estructura del material de una batería.

### 5.2.3. Petróleo y gas

**• El papel del platino en un catalizador del tipo Pt-zeolita.** Aunque están presentes en casi todos los procesos de ingeniería química, generalmente los mecanismos de catálisis aún no se han analizado a una escala atómica. La demanda de catalizadores más eficientes y selectivos, impulsados por factores económicos y ambientales, es el origen de un esfuerzo de investigación en todo el mundo para racionalizar la síntesis de nuevos catalizadores. Las zeolitas son una clase extremadamente importante de catalizadores para muchos procesos industriales. En la industria del petróleo, al material se le incorporan átomos de metal, pero su eficiencia catalítica depende de donde se localizan. Estos son más activos en los poros de la matriz de soporte que en la superficie, pero hasta hace poco, era extremadamente difícil distinguir en que sitio se alojaban.

Un equipo franco-estadounidense logró hacer esta distinción en el sincrotrón ESRF (Francia). Utilizaron un análisis de difracción anómala en una zeolita Pt / ZMS-5, usando una energía de haz cerca del borde de absorción de la subcapa $L_3$ del platino. La muestra, preparada por **MOBIL Technology Co.**, se redujo *in situ* en un horno montado en el difractrómetro bajo una atmósfera controlada de hidrógeno. Una comparación de los espectros de las formas iniciales y reducidas muestra que los clústeres metálicos en la forma reducida sólo podrían estar situados fuera de los poros. Este análisis también demuestra que la técnica es lo suficientemente sensible para analizar catalizadores industriales con una concentración muy baja de agente activo, menos de 1%. Gracias a este estudio será posible mejorar la eficiencia de este tipo de componentes.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: BM02 - Diffraction and Multi-wavelength Anomalous Dispersion.*
*Técnica: XRD Anómala.*



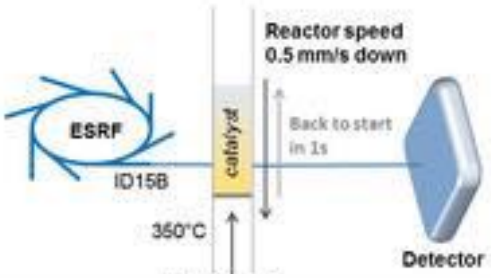
Representación de la zeolita a nivel atómico

• **Un mejor entendimiento del proceso Metanol a Olefinas (MTO).** El ESRF trabajó en conjunto con la Universidad de Oslo (UiO) la cual maneja un proyecto llamado **inGAP** (*Innovative Natural Gas Processes and Products*) con distintas organizaciones: NTNU (Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología), **Haldor Topsøe** (Compañía de Catálisis Danesa), SINTEF (Organización Independiente de Investigación de Escandinavia), **Statoil** (Compañía Noruega de Petróleo), **INEOS ChlorVinyls** (Compañía química internacional y productora de PVC) y el Concejo de Investigación de Noruega.

El proceso de Metanol a Olefinas (MTO) se está convirtiendo en un paso clave en la ruta de los combustibles baratos, abundantes e incluso renovables como el gas, el carbón y la biomasa, dentro los bloques de construcción químicos de los que dependemos todos los días. Las olefinas son un grupo particularmente útil de los productos químicos que se puede transformar en polímeros utilizados en cualquier cosa desde botellas de plástico hasta ropa interior térmica. El catalizador en el proceso MTO es el zeotipo poroso SAPO-34, el cual sufre la desactivación causada por la acumulación de coque en sus cavidades de zeolita.

Se utilizó la difracción de rayos X de alta energía resuelto en tiempo y espacio en la operación del catalizador de zeolita dentro de un reactor catalítico de trabajo para el proceso de MTO. Los científicos fueron capaces de correlacionar el crecimiento en el tamaño de la celda unidad del catalizador con su desactivación en diferentes posiciones en el reactor. El comportamiento observado puede ser explicado por un nuevo modelo cinético del proceso. Este modelo fue el primero en incluir el vínculo entre la alimentación de metanol y el aumento de los niveles de coque. Los conocimientos adquiridos ayudarán a mejorar la eficiencia del proceso MTO a escala industrial [32].

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID15 - Materials Chemistry and Materials Engineering.*
*Técnica: HEXRD.*




Representación esquemática del experimento llevado a cabo en el sincrotrón ESRF para caracterizar el catalizador.

• **Estudio del mecanismo de recuperación de yacimiento por inyección de agua de baja salinidad.** [33] La inyección de agua en yacimientos petrolíferos es un método bien conocido como estímulo del yacimiento. La empresa **British Petroleum** ha desarrollado una nueva tecnología modificando la formulación química y la salinidad del fluido de inyección, lo cual ha sido de gran importancia en el proceso de estimulación de yacimiento.

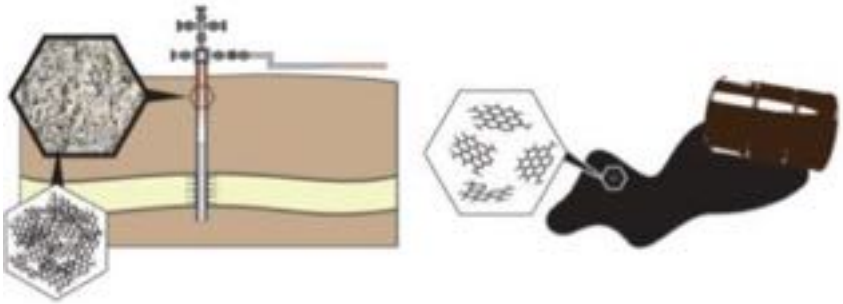
Para entender mejor el mecanismo de este proceso, BP acudió a la línea I22 del sincrotrón Diamond, donde se realizaron análisis utilizando Dispersión de rayos X a Angulos Pequeños (SAXS). Estos estudios permitieron detectar y caracterizar capas delgadas de agua rodeando las partículas de arena y arcilla del yacimiento, al bajar la salinidad, se reduce la ionización de las partículas de agua lo que ocasiona que el grosor de la cpa de agua cambie, impactando en el flujo del producto.

Las cocnlusiones de este trabajo permitieron a la compañía BP conocer a detalle este mecanismo de inyección, ayudando así en el desarrollo, control y mejoramiento de esta nueva tecnología.

*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: I22 - Small Angle Scattering & Diffraction.*
*Técnica: SAXS.*

• **Estudio de la nanoestructura y procesos de unión del asfalteno.** La acumulación de asfalteno dificulta el bombeo y flujo del petróleo de alta viscosidad en los ductos. Conocer la nanoestructura del asfalteno y sus mecanismos y procesos de unión es crucial en el diseño de aditivos para reducir la viscosidad del petróleo. El sincrotrón LNLS en colaboración con la petrolera estatal brasileña **Petrobras**, está trabajando en superar los retos científicos y tecnológicos que implican el romper y degradar este "colesterol" del petróleo de manera eficiente y rentable.

*Sincrotrón: LNLS.*



• **Mejoramiento del sistema de detección de fugas de gas natural (realSens,TM).** El detectar fugas en gasoductos es de vital importancia, nadempas de para asegurar rentabilidad en el transporte del gas, para evitar daños materiales y sobretodo salvar vidas. El método tradicional de detección consiste en poner a trabajadores a recorrer la línea entera con sensores de mano. La compañía canadiense **Synodon Inc.** Ha estado desarrollando el sistema realSens$^{TM}$ para realizar esta labor en una forma más eficiente rápida y reditaubale, el cual consiste en aparatos de detección infrarroja montados en helicóptero.

El desarrollo de este sistema se apoyó en gran manera en la línea de infrarrojo lejano del sincrotrón CLS, cuyas técnicas de análisis de gases por espectrometría sirvieron para diseñar y refinar esta nueva tecnología de Synodon. Esta tecnología podría ser extendida a la detección de otros gases inclusive desde vía satelital. Las posibilidades son muchas.

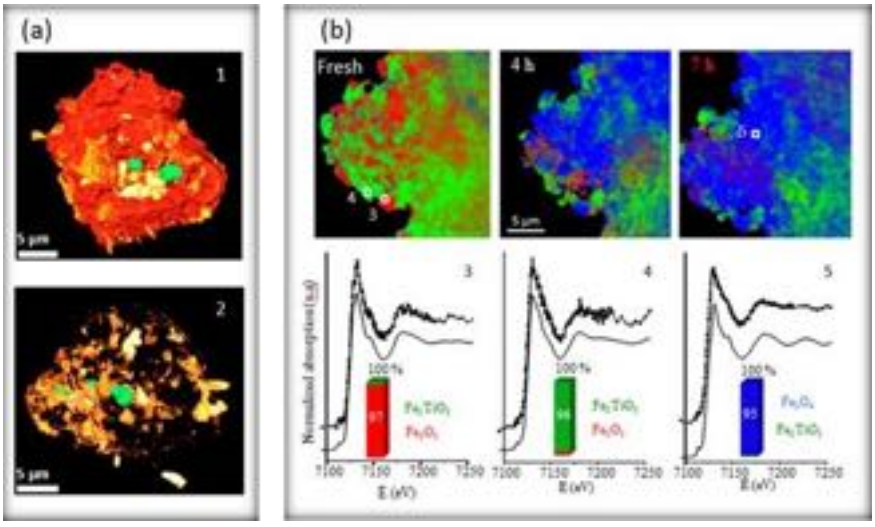
*Sincrotrón: CLS.*
*Línea: 02B1-1- Far Infrared.*
*Técnica: Espectroscopía de infrarrojo.*

• **Caracterización y tomografía del proceso Fischer-Tropsch a Olefinas (FTO) utilizando un catalizador basado en hierro.** [34] Las olefinas son los componentes básicos de muchos productos en la industria petroquímica. El aumento en los costos de la industria ha llevado a utilizar el proceso Fischer-Tropsch-a-Olefinas (FTO) para sintetizar estos componentes a partir de catalizadores basados en hierro.

Para tener un mejor control del proceso, la compañía **Dow Chemical** junto con el sincrotrón SSRL realizaron un análisis del proceso FTO *in situ* en condiciones operacionales de presión y temperatura. Con un reactor diseñado específicamente para el estudio montado en la línea y utilizando la técnica de Microscopía de rayos X duros de transmisión (TXM) que permite obtener imágenes a escalas micrométricas con resolución nanométrica, se pudo seguir el proceso por el que atraviesa una sola partícula de catalizador durante las reacciones del mecanismo FTO.

Este estudio podrá ser utilizado para establecer protocolos de síntesis de los procesos FTO y de otros catalizadores y poder optimizar sus mecanismos.

*Sincrotrón: SSRL.*
*Línea: 6 - 2c.*
*Técnica: TXM (rayos X duros).*




*(a)Tomografía en 3D de una partícula de catalizador. (b)Seguimiento en 2D de la partícula durante el proceso FTO: antes, después de 4 horas y después de 7 horas.*

## 5.3. Materia prima

El uso de la luz sincrotrón se extiende a aplicaciones directas a la industria, aquí exponemos algunos ejemplos concretos de estas aplicaciones. En el caso de materias primas, las aplicaciones y técnicas son numerosas, los materiales analizados incluyen metales y aleaciones, vidrio, cerámicas, hules, plásticos compuestos, madera, textiles y materia prima para una variedad de industrias.

Con la luz de sincrotrón es posible examinar la organización molecular, su composición química y su micromorfología, además de poder monitorear en tiempo real las modificaciones inducidas en ellos por esfuerzos térmicos, mecánicos, electromagnéticos o de radiación en ambientes químico específicos. En lo que sigue se mostrarán los diferentes casos encontrados.

### 5.3.1. Cerámica y vidrio

• **Análisis de la resistencia térmica y resistencia a fracturas de cerámicas para turbinas de nueva generación.** [35] Las cerámicas son conocidas y utilizadas por su gran resistencia a las altas temperaturas, sin embargo siempre han tenido la desventaja de ser quebradizas y poco resistentes a las fracturas.

La empresa **Teledyne Technologies** en colaboración con la Universidad de Berkeley han estudiado materiales cerámicos de nueva generación llamados compuestos de matriz cerámica, los cuales pueden resistir temperaturas que fundirían aleaciones de níquel y materiales utilizados en la construcción actual de turbinas. Utilizando técnicas de tomografía con la luz de sincrotrón generada en el sincrotrón ALS, se pudieron realizar pruebas de resistencia a fracturas a muy altas temperaturas a la vez que se generaban imágenes tridimensionales en tiempo real de los materiales con una resolución espacial menor a un micrómetro y bajo condiciones de presión y ultra alta temperatura.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 8.3.2 - Hard x-ray microtomography.*
*Técnica: Microtomografía.*

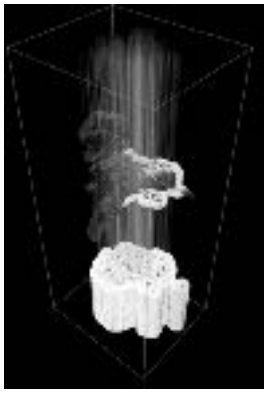


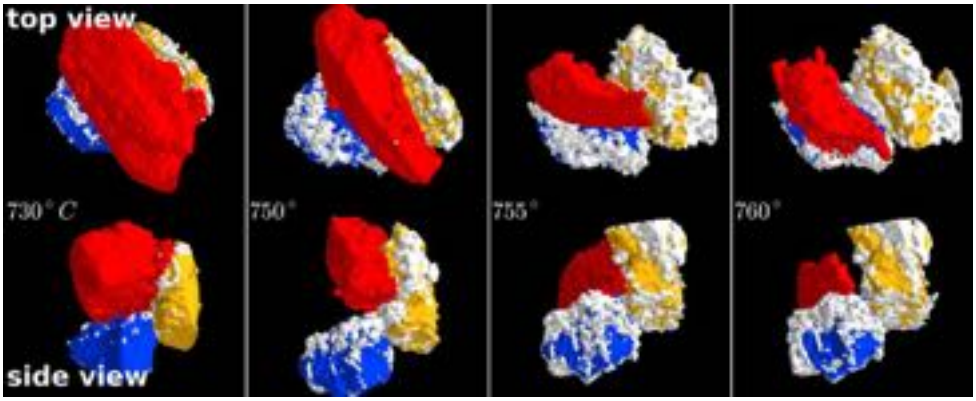
Imagen en 3D de un material compuesto de cerámica bajo presión y a temperatura de 1750°C que muestra patrones de fractura en el material. Las líneas verticales don fibras de carburo de alrededor de 500 micras.

• **Estudio del proceso de fundido de los componentes del vidrio.** [36] El uso de la energía en la manufactura del vidrio es muy importante, la empresa **Saint-Gobain** quería entender bien el proceso del vidrio y de sus diferentes componentes cuando se funden; y de esta manera hacer más eficiente el proceso, ahorrar energía y reducir los costos de manufactura, ayudando a volverse una empresa más ecológica.

En la línea ID19 se realizaron en un horno *in situ* tomografías en 3D del proceso de fundición a una escala adecuada para poder estudiar el mecanismo. En el análisis se logró observar el proceso de fundición de los tres componentes usuales del vidrio, arena, carbonato de sodio y carbonato de calcio: su estado previo al horneado y el proceso en tiempo real.

Este estudio permitió dar seguimiento al proceso de fundido de los granos. A partir de este conocimiento, la empresa pudo diseñar modificaciones para realizarlo de manera más eficiente.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID19 - Three-dimensional X-ray Imaging Beamline.*
*Técnica: Tomografía en 3D.*




Tomografías en 3D del proceso de fundición de los componentes del vidrio: arena (amarillo), carbonato de sodio (rojo) y carbonato de calcio (azul).

### 5.3.2. Cemento

• **Análisis del proceso de fabricación del concreto celular.** [37] [38] El hormigón o concreto celular es un material de construcción cinco veces más ligero que el concreto, es aislante térmico y resistente al fuego. Este material es elaborado a partir de la mezcla de compuestos de silicio, cemento y cal viva con agua y un agente espumante; los componentes son sometidos a altas temperaturas y presiones dentro de un autoclave, donde la cantidad de agua y la temperatura son los elementos clave para la generación de cristales de tobermorita (un compuesto mineral de calcio y silicio) que son los que determinan la resistencia del concreto.

La reciente demanda de concreto celular de mejor desempeño obliga a las empresas a modificar sus procesos, sin embargo ya que no es posible observar la síntesis del concreto celular dentro del autoclave, el único método de mejora ha sido el de prueba y error. Esto llevó a la compañía japonesa **Asahi Kasei Construction Materials Corporation** a acudir al sincrotrón SPring-8, donde en la línea BL19B2 se utilizó la técnica de Difracción de Rayos X de alta intensidad para poder analizar con precisión este proceso.

Gracias a este análisis se pudo determinar con exactitud los mecanismos de formación de la tobermorita, las diferentes reacciones de los componentes y los tiempos en que sucede. Gracias a esta información, se pudieron diseñar procesos controlados para mejorar el desempeño del material.

*Sincrotrón: SPring-8.*
*Línea: BL19B2 - Engineering Science Research I.*
*Técnica: XRD*
.

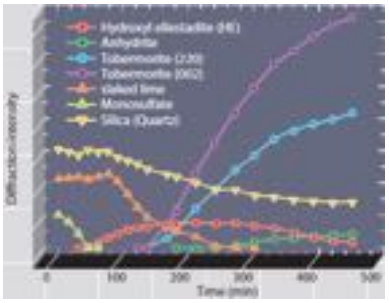
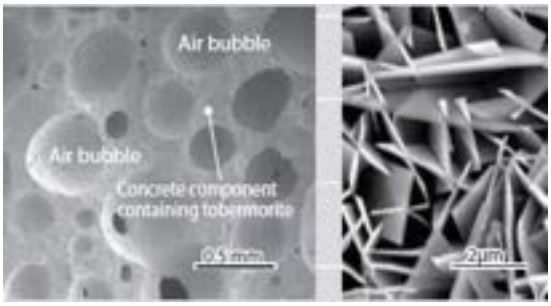



Diagrama de difracción que muestra los cambios en el tiempo de los componentes en el proceso de elaboración del concreto celular.



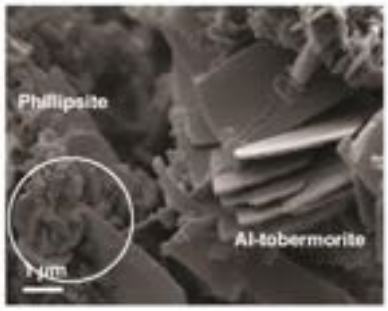

Cristales de tobermorita en el concreto celular

• **Análisis de cemento romano antiguo para el desarrollo de cementos.** [39] [40] [41] La compañía **CTG Italcementi** y la Roman Maritime Concrete Study (ROMACONS) estudiaron el concreto romano utilizado en sus estructuras portuarias, las cuales siguen en pie, fuertes y estables después de dos mil años de encontrarse expuestos a las inclemencias del medio ambiente marítimo.

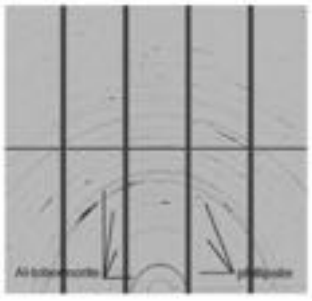
Utilizando diversas técnicas de análisis en el sincrotrón ALS, se reveló que en el concreto romano se encuentra presente un compuesto de hidrosilicato de calcio aluminio, cuyo principal compuesto es un mineral llamado Al-tobermorita, mientras que el utilizado en cementos actuales (cemento Portland) el aluminio no se encuentra presente en sus hidrosilicatos. Las propiedades de la Al-tobermorita fueron medidas por primera vez utilizando las técnicas de análisis del sincrotrón ALS, se determinó el punto en la estructura del concreto donde se forma la tobermorita y de qué forma mantiene unido al concreto. Se encontró también que el concreto romano secuestra cloro y sulfato en sus estructuras cristalinas, lo que es de gran utilidad ya que la corrosión del acero por parte del cloro es una de las causas de degradación de las estructuras de construcción. Estos estudios son de suma importancia para el desarrollo de nuevas formulaciones de cementos más resistentes y menos dañinas al ambiente.

*Sincrotrón: ALS.*
*Líneas: 5.3.2 - Polymer scanning transmission x-ray microscopy (STXM;.*
*12.2.2 - High Pressure XRD; 12.3.2 - X-ray Microdiffraction.*
*Técnica: Micro XRD a fina escala.*

Roseta de filipsita cristalizada sobre láminas de Al-tobermorita en la matriz cementosa del concreto marítimo romano de la bahía de *Sinus Baianus* en Italia.




Patrón en experimentos de difracción en la línea 12.3.2



• **Estudio en tiempo real del comportamiento de fraguado de nuevas formulaciones de eco-cemento.** En ALBA, junto con la Universidad de Málaga, se colaboró con **Henkel** para estudiar una nueva fórmula de cemento.

Henkel, bajo la marca de Ceresit, ha estado en el negocio de los cementos por más de 100 años. En tiempos recientes, el enfoque tanto en construcción como aplicaciones de los cementos está en las tecnologías que sean amigables con el medio ambiente, con una huella de carbono menor y reducir las emisiones de $CO_2$. El desarrollo de una nueva fórmula de eco-cemento se desarrolló por Henkel R&D, y los estudios en tiempo real se llevaron a cabo en una línea de cristalografía de rayos X en el sincrotrón ALBA, en conjunto con la Universidad de Málaga.

Como resultado de esta colaboración, se obtuvo una imagen clara de la evolución de las fases cristalinas en la formulación de cemento, en la escala de tiempo extremadamente amplia (15 min - 3 meses).

*Sincrotrón: ALBA.*
*Línea: BL04 MSPD.*
*Técnica: Difracción de polvo.*

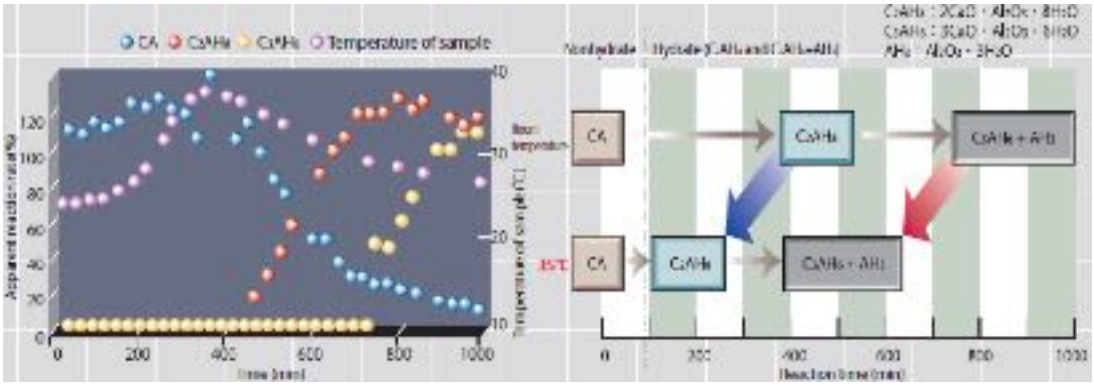
**• Estudio del proceso de hidratación de cemento modificado con polímeros para recubrimientos a prueba de agua.** [42] [38] Cuando se mezcla cemento con ciertas emulsiones de polímero y agua, el cemento es hidratado, formando de esta manera un material de recubrimiento a prueba de agua, el cual mantiene la flexibilidad del polímero y la resistencia y adhesividad del cemento.

Estos recubrimientos deben ser capaces de soportar las diferentes condiciones de temperatura y humedad de los lugares en los que podrían ser utilizados. Para poder asegurar propiedades óptimas en la manufacturación de estos materiales es esencial entender el proceso de hidratación del cemento, para lo cual es necesario hacer análisis a nivel molecular, lo cual ha sido difícil lograrlo con fuentes convencionales de rayos X.

Por medio de las técnicas de Difracción de Rayos X de alta intensidad de la línea BL19B2 del sincrotrón SPring-8, la compañía japonesa **Ozeki Chemical Industry Co., Ltd.** pudo trazar el mecanismo entero de hidratación del cemento, observando la formación de diversos hidratos de cemento durante el proceso.

Gracias a este estudio se pudieron diseñar recubriemientos a prueba de agua que soportaran incluso las condiciones subterráneas de humedad al 100% del Túnel Nerima del Grupo de Planeación Urbana de Tokyo, donde fue utilizado. Se han utilizado estos materiales también en el Shangai World Financial Center y en el desarrollo urbano Roppongi Hills en Tokyo.

*Sincrotrón: SPring-8.*
*Línea: BL19B2 - Engineering Science Research I.*
*Técnica: XRD.*




Progreso de la hidratación del compuesto de cemento y alúmina donde se observa que los hidratos de cemento aparecen más rápidamente a 35°C que a temperatura ambiente.

### 5.3.3. Minería

**•Investigación extensiva de la refinación de aluminio.** El Sincrotrón Australiano trabaja con **BHP Billiton Worsley Alumina**, compañía minera, de metalurgia y petrolera. Específicamente para investigar extensivamente el proceso de sus materiales. Gracias a las capacidades avanzadas del sincrotrón, éste está ayudando a Worsley a ser un negocio más eficiente y sustentable. Worsley extrae bauxita (mineral compuesto por óxidos de aluminio) y refina el aluminio, en 2013 la producción anual era de 4.6 millones de toneladas de aluminio.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: PD - Powder Diffraction.*
*Técnica: PD.*

**• Estudio de la formación de grietas en los pellets de mineral de hierro.** La magnetita ($Fe_3O_4$) y la hematita ($Fe_2O_3$) son óxidos muy abundantes en la naturaleza y se encuentran también como productos de los procesos de corrosión de estructuras ferrosas. Estos minerales contienen un alto contenido de hierro, por lo que son las principales fuentes en la extracción de este elemento. La oxidación de la magnetita a hematita que se da a altas temperaturas (1000 ° C) es una reacción fundamental en los proceso de la industria minera de hierro.

La empresa **LKAB** ha estado trabajando muy de cerca con el sincrotrón PETRA III para caracterizar este proceso. En específico para estudiar cómo las diferentes temperaturas y atmósferas afectan la formación de grietas en los pellets de hierro; así como los cambios estructurales en la transformación de fase de la magnetita a la hematita.

*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P05 Imaging.*
*Técnica: Tomografía.*

• **Verificación de la estabilización de arsénico mediante una técnica de procesamiento de relaves mineros.** Como parte del esfuerzo para controlar y mitigar los efectos a largo plazo de sus actividades mineras, la compañía canadiense **AREVA** ha desarrollado un proceso de tratamiento de relaves, en el que el contenido de arsénico residual queda estabilizado en una forma cristalina mineral que no representa un impacto en el ambiente. La compañía debía verificar la eficacia de este proceso, y ya que el análisis en laboratorios convencionales de rayos X no arrojaba resultados conclusivos, acudieron al sincrotrón CLS para realizar pruebas. En el sincrotrón, por medio de la técnica de Espectroscopía de Absorción de Rayos X de Estructura Fina, se pudo verificar con certeza que este proceso de tratamiento de relaves sí cumplía su propósito.

El valor agregado proporcionado por este tipo de estudios es invaluable, ya que sin este tipo de tecnologías no habría forma de que la compañía pudiera continuar con sus actividades mineras sin asegurar un control de los efectos a largo plazo sobre el suelo y subsuelo..

*Sincrotrón: CLS.*
*Técnica: XAFS.*

• **Análisis de compuestos de níquel presentes en el polvo de filtros de aire.** La compañía **Vale Inco Ltd.** es la mayor productora de níquel en Canadá. No obstante el níquel tiene numerosas aplicaciones y beneficios, algunas de sus formas químicas son tóxicas. Como parte del esfuerzo para reducir el impacto ecológico y para protección de sus trabajadores, la compañía inició un estudio para determinar el grado de toxicidad de las diferentes formas químicas de níquel que están presentes en sus procesos.

Utilizando la técnica de Absorción de Rayos X de Borde Cercano, la cual es sensible a los cambios de estado químico y que no requiere de mucha preparación de las muestras, se pudo tener un conocimiento detallado de los diferentes grados de toxicidad de estos subproductos de manera rápida y eficaz. Este estudio permitirá diseñar estrategias de manejo de estas sustancias para reducir su impacto en el ecosistema y el área de trabajo.

*Sincrotrón: CLS.*
*Técnica: XANES.*

### 5.3.4. Metales

**• Caracterización de dos compuestos carcinogénicos presentes en el proceso de manufactura del acero.** La compañía canadiense **Evraz, Inc.** Está dedicada a la manufactura de acero y tubería, Es una empresa comprometida con ser ecológicamente responsable: recicla 1.2 millones de toneladas de acero al año y tiene certificación ISO 14001 en Sistemas de Manejo Ambiental.

Cuando el Departamento de Ambiente del gobierno canadiense ordenó a las compañías a proporcionar información sobre las sustancias utilizadas en sus procesos que presenten riesgos a la salud y medio ambiente, Evraz se dedicó a rastrear dos componentes (óxido de vanadio y óxido de antimonio) que se conoce son subproductos de algunos de sus procesos y que son carcinogénicos.

Debido a las trazas tan pequeñas de estas sustancias en sus productos, los análisis convencionales de espectroscopía no son capaces de detectarlos, por lo que acudieron a la línea de Microanálisis con Rayos X Duros del sincrotrón CLS, donde utilizando la técnica de Absorción de Rayos X de Borde Cercano, pudieron ser determinadas las especiaciones y concentraciones de estas dos sustancias presentes en las muestras.

*Sincrotrón: CLS.*
*Línea: 06ID-1 - HXMA.*
*Técnica: XANES.*

• **La evaluación de daños de un compuesto AlSiC.** En el ESRF, se estudió y evaluó el daño de un material compuesto de Al/SiC de **Pechiney** bajo deformación a la tracción se ha estudiado in situ mediante tomografía de contraste de fase. La técnica de contraste de fase mejora el contraste entre la matriz de aluminio y las partículas de SiC en comparación con la tomografía tradicional. Las imágenes 3D del compuesto muestran claramente las partículas de refuerzo (120 micras de tamaño medio) dentro de la matriz metálica. La técnica muestra poros cerca de las partículas de SiC que no se observan en la superficie, probablemente porque están llenos en el proceso de pulido.

Los ensayos de tracción se llevaron a cabo a una velocidad de desplazamiento constante de 150 m / min. La técnica de contraste de fase revela el desarrollo de grietas en las partículas de SiC a 0,5 micras de tamaño que se aplica la cepa. El proceso de fractura sigue un orden bien definido:

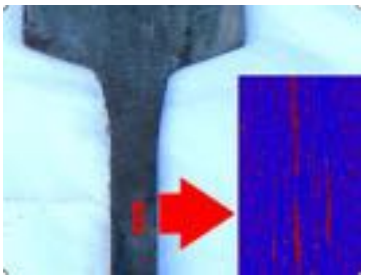
- agrietamiento de algunas partículas de SiC
- desglose de la interfaz de partícula / matriz
- propagación de los poros inducidos.

El número de partículas de SiC agrietados es sustancialmente mayor en el mayor que en la superficie; por lo tanto, es necesario visualizar directamente los defectos en la mayor para modelar el proceso de fractura de los compuestos de matriz del metal (MMC, del inglés *Metal Matrix Composites*).

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID19 - Three-dimensional X-ray Imaging Beamline.*
*Técnica: Imagen por contraste de fase.*

• **Estudio de la fiabilidad de la soldadura en los rieles.** En el Sincrotrón Australiano se está trabajando en mejorar las aleaciones de los rieles para evitar accidentes como el descarrilamiento. Existen nuevas aleaciones de acero para los rieles y ruedas de ferrocarril, sin embargo, el contenido alto de aleaciones puede conducir a problemas con la soldadura de los rieles y suponen un riesgo de seguridad importante. Junto con el Instituto de Tecnología de Rieles (IRT) de la Universidad de Monash (Melbourne, Australia), que a su vez tiene a **BHP Billiton**, **Rio Tinto**, **FMG** y **Vale** (cuatro de los mayores productores de minerales en Australia) como clientes, se está investigando como la mala distribución de elementos como el manganeso afecta a la fiabilidad de rieles soldados, lo cual permite una mejor predicción del fracaso.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: XFM - X-ray fluorescence microscopy.*
*Técnica: SXFM.*



• **Comportamiento mecánico y análisis microestructural de alambres de acero perlítico ultra reforzados.** Este acero es de interés para muchas aplicaciones de ingeniería, tales como cuerdas de neumáticos, cintas transportadoras, resortes, mangueras y cables de puente. De hecho, presentan una fuerte resistencia a la tensión a través del proceso de estirado en frío. En ANKA se prestó especial atención al mecanismo de refuerzo para aclarar si la fuerza de alta resistencia se debe a un refinamiento de la microestructura o de una sobresaturación de carbono de la matriz. El resultado del análisis indican que los cambios microestructurales se relacionan con el enriquecimiento de átomos de carbono in la matriz de ferrita durante la deformación progresiva del material. Los estudios se realizaron en metales proporcionados por **Suzuki Metal Industry Co., Ltd** y **Nippon Steel Corporation**.

*Sincrotrón: ANKA.*
*Línea: PDIFF- Power Diffracion.*
*Técnica: XRD.*

• **Estudio de los revestimientos de insertos de carburo cementado.** Los revestimientos de insertos de carburo cementado son ampliamente utilizados como herramientas de corte para el mecanizado de aleaciones metálicas. Los sustratos se revisten con delgadas monocapas o multicapas resistentes al desgaste (es decir, Ti (C, N), (Ti, Al) N y $Al_2O_3$) por métodos de deposición de vapor.

En el mecanizado de corte interrumpido, las herramientas de corte son sometidas a cargas e impactos de calor, que influyen en el tipo de desgaste de las herramientas. En particular, en las operaciones de fresado los fuertes desajustes del coeficiente de expansión térmica (CTE) entre los revestimientos y los sustratos de carburo cementado pueden conducir al desarrollo de tensiones residuales durante las condiciones del ciclo termo-mecánico, estas tensiones puede acelerar la formación y la propagación de grietas termales, resultando en la falla de las herramientas.

Utilizando una línea de haz en Bessy II, **AB Sandvik Coromant R&D** midió las tensiones residuales *in situ* tanto en el revestimiento y el sustrato a diferentes niveles de temperatura, para realizar un seguimiento de las distribuciones de tensiones como función de la temperatura. Con la información obtenida fue posible comprender el efecto de las cargas termales en las herramientas de corte; este resultado podría ser utilizado para optimizar el diseño del substrato y revestimiento, mejorando así el desempeño de las herramientas.

*Sincrotrón: BESSY II.*
*Línea: 7T-MPW-EDDI.*
*Técnica: Difracción de Rayos X.*

**Estudio del proceso de fabricación de aceros limpios (con menos impurezas).** La presencia de micro impurezas no metálicas en aceros es un problema que la industria metalúrgica se enfrenta en la producción de nueva generación de aceros limpios. En los aceros inoxidables, estás micro-inclusiones creadas durante el proceso de producción puede generar microfracturas que pueden expandirse en el material cuando está bajo tensión mecánica, que potencialmente podrían causar un fallo estructural total.

En Elettra, los investigadores utilizan la técnica microespectroscopía fotoemisión de rayos X para identificar las características químicas de estas impurezas extremadamente pequeñas.

La caracterización química ha sido útil para identificar la fase de producción en la que normalmente se produce la "contaminación", y por lo tanto encontrar una posible solución para mejorar el proceso y reducir las impurezas en el acero.

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 2.2L - ESCA Microscopy.*
*Técnica: Espectromicroscopía de fotoelectrones.*

## 5.4. Ingeniería y Manufactura

Para la ingeniería y la manufactura, las técnicas de análisis disponibles en los sincrotrones cobran relevancia significativa en la investigación y desarrollo de productos y procesos, con el objetivo constante de reducir el impacto al medio ambiente, incrementar las condiciones de seguridad y reducir los costos de manufactura. El uso de la luz de sincrotrón en este sector se centra en: el mejoramiento de catalizadores para reducir emisiones por medio de una mejor comprensión de los procesos de catálisis utilizando técnicas de absorción de rayos X; la medición de los efectos de los esfuerzos sobre los componentes y piezas bajo condiciones operativas por medio de técnicas de difracción de rayos X; la microtomografía para poder visualizar la microestructura y defectos en los componentes; y las técnicas de caracterización de superficie. A continuación se mostrarán los casos de estudio encontrados en esta investigación.

### 5.4.1. Automotriz

• **Mediciones del estrés residual después del templado de una cabeza de cilindro de aluminio.** En el sincrotrón PETRA III la empresa **Volkswagen AG** realizó mediciones en una cabeza de cilindro compuesta de una aleación de aluminio de grano fino se trató térmicamente en solución y se templó en agua. Se midieron las tensiones residuales resultantes en un plano paralelo a la cámara de combustión. Los resultados obtenidos ayudaron a validar los resultados de simulación realizados por la compañía.

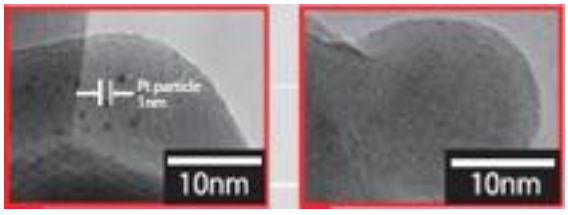
*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P07 - High Energy Materials Science.*
*Técnica: XRD.*

• **Desarrollo de catalizadores inteligentes para el control de emisiones automotrices.** [43] [44] [45] [38] Las condiciones de alta temperatura y mezcla de gases presentes en los convertidores catalíticos de los automóviles ocasiona que los catalizadores convencionales encargados del control de emisiones se deterioren con el tiempo. Estas condiciones provocan reacciones de oxidación y reducción en las partículas de metal precioso (como platino, paladio y rodio) presentes en los catalizadores, ocasionando que estos granos aumenten de tamaño reduciendo su superficie activa; entonces para mantener la acción de control de emisiones se requiere de un exceso de metal precioso.

Con la finalidad de controlar el uso de metales preciosos, reduciendo así los costos y contribuyendo con el medio ambiente, investigadores del sincrotrón SPring-8 junto con la compañía automotriz Daihatsu Motor Co., Ltd. y la Agencia Japonesa de Energía Atómica utilizaron técnicas de Absorción de Rayos X de Estructura Fina para analizar las propiedades de los metales, desarrollando así "catalizadores inteligentes" utilizando óxido de perovskita. Estos catalizadores inteligentes regulan la exposición de las partículas de metal precioso según los gases de escape presentes, logrando así que el catalizador se autoregenere, manteniendo el desempeño catalítico del convertidor. Este desarrollo hubiera sido imposible utilizando técnicas de análisis en laboratorios convencionales.

*Sincrotrón: SPring-8.*
*Líneas: BL01B1 - XAFS; BL14B1 - JAEA Materials Science*
*BL14B2 - Engineering Science Research II*
*BL28B2 - White Beam X-ray Diffraction*
*Técnica: XAFS.*

Precipitación de partículas de platino en el substrato de óxido de perovskita durante el proceso de reducción a altas temperaturas y posterior restauración de su tamaño a nivel atómico durante el proceso de oxidación.

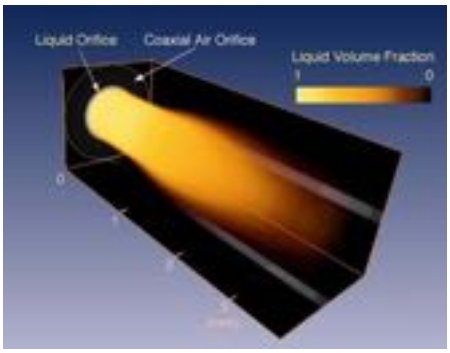


**• Captura de imágenes del flujo de spray multifásico en rociadores industriales de alta velocidad.** [46] Los rociadores industriales de alta velocidad se utilizan en varias áreas de la industria, principalmente en recubrimientos y pintura. El rociado consiste en un chorro de líquido rodeado de una camisa de aire coaxial al chorro, la cual atomiza el líquido. La eficiencia en la transferencia de las partículas de líquido a las superficies a recubrir impacta directamente en el rendimiento económico del proceso y en el medio ambiente. La optimización de este proceso se centra en la mejora en el diseño de las boquillas de los rociadores. Ésta optimización actualmente es muy limitada, la física de fluidos que describe los patrones de flujo en el proceso de rociado no se ha podido entender bien, en parte debido a una falta de información acerca de la composición de la corriente de flujo cercana a la boquilla, como por ejemplo la distribución de la masa o el mecanismo de separación del líquido durante la atomización. Los análisis realizados hasta ahora con la intención de visualizar estos procesos no han sido muy efectivos dado que la luz es dispersada por las mismas partículas atomizadas y por la opacidad de los líquidos como la pintura.

Por lo que ingenieros e investigadores del sincrotrón APS y de la empresa **Illinois Tool Works Inc. (IWT)** utilizaron el haz de rayos X de alta brillantez de la línea 7-ID para poder observar que sucedía debajo de la superficie del chorro de alta velocidad. Los investigadores capturaron las primeras imágenes del complejo flujo de fase transitoria a sólo unos milímetros de la boquilla de un rociador industrial de alta velocidad, utilizando técnicas de imagen a alta velocidad de contraste de fase de rayos X. Debido a su baja interacción con la materia, los rayos X pueden penetrar y mapear los chorros de líquido rodeados de partículas atomizadas de éste; y con éstas técnicas el proceso puede ser monitoreado en tiempo real, avanzando así en la mejora y optimización de estos rociadores.

*Sincrotrón: APS.*
*Línea: 7-ID - Time Resolved Scattering and Spectroscopy.*
*Técnica: Imagen por contraste de fase*

.

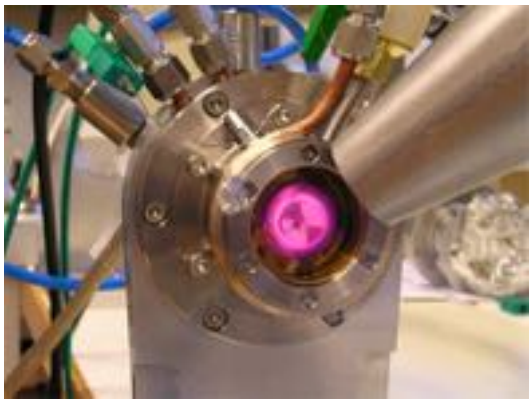



Render tridimensional del rociado coxial. La intensidad del color representa la fracción del volumen del líquido. (Francesco de Carlo, APS)

• **Estudios para tener mejores catalizadores de escape.** El catalizador metálico es responsable de gran parte de la oxidación de CO y los hidrocarburos no quemados de los gases de escape provenientes de un motor de combustión interna. Los catalizadores de escape de los vehículos actuales pierden eficacia a medida que envejecen. Esto es debido en particular a la siterización de los metales nobles utilizados en los catalizadores. **Toyota Motor Corporation (Japón y Europa)** estudió catalizadores de escape en el ESRF, utilizando técnicas de rayos X que permitieron realizar el examen de la estructura de la superficie del catalizador y las reacciones químicas que tienen lugar.

Los experimentos permitieron una comprensión de la sinterización y la redispersión de las partículas de catalizador metálico y, en particular de un mecanismo de inhibición de la sinterización de platino sobre unos soportes de óxido de metal. En específico, el análisis de los datos condujo al descubrimiento de un fenómeno inesperado, es decir, una redispersión oxidativa eficiente de nanopartículas de Pt durante un rápido (~ 60 segundos) ciclo redox. Este proceso de redispersión condujo a un potencial tangible para la incorporación de una metodología "a bordo" para extender la vida útil del catalizador a través del cercenamiento o revertir los efectos de sinterización de metal durante la operación.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID24 - Energy dispersive X-ray absorption.*
*Técnica: EXAFS; microscopía infrarroja.*



Reactor donde se realizaron los experimentos bajo condiciones del tipo *In Situ.*

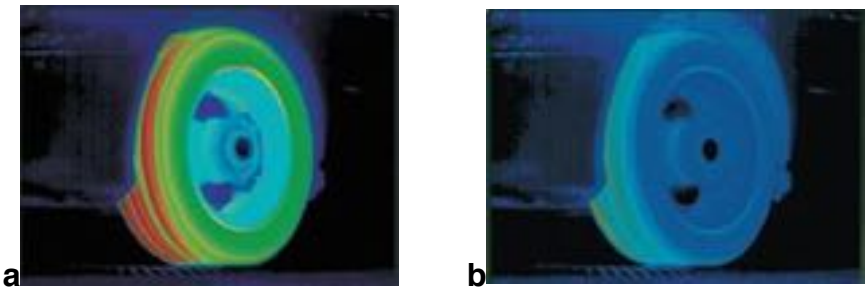
• **Desarrollo de nuevo material para manufactura de llantas de alta eficiencia** [38] El componente principal de las llantas de automóvil es el caucho, sin embargo puede ser reforzado con nanopartículas de carbono o silicio aumentando así su resistencia la deformación y aumentando su agarre a la superficie del camino. Sin embargo estp ocasiona pérdidas de energía, reduciendo la eficiencia de combustible del vehículo.

Para entender bien este mecanismo, la compañía japonesa **Sumitomo Rubber Industries, Ltd.** acudió al sincrotrón SPring-8 para poder entender la causa de esta pérdida de energía.

Utilizando la técnica de Dispersión de Rayos X en Ángulos Pequeños y con una técnica nueva desarrollada a ángulos ultra pequeños con la cual se pueden hacer mediciones a escalas nanométricas, se pudo observar que las moléculas de silicio en el material forman pequeñas redes con pocos enlaces en la estructura del material, lo cual es un factor en la generación de calor y pérdida de energía.

Se desarrolló entonces un proceso en el que las moléculas de silicio son dispersadas más uniformemente en la estructura, con lo cual se pueden manufacturar llantas de gran desempeño con alto agarre y eficiencia de combustible.

*Sincrotrón: SPring-8.*
*Líneas: BL20XU - Medical and Imaging II; BL03XU - Advanced Softmaterial*
*Técnica: SAXS; USAXS.*



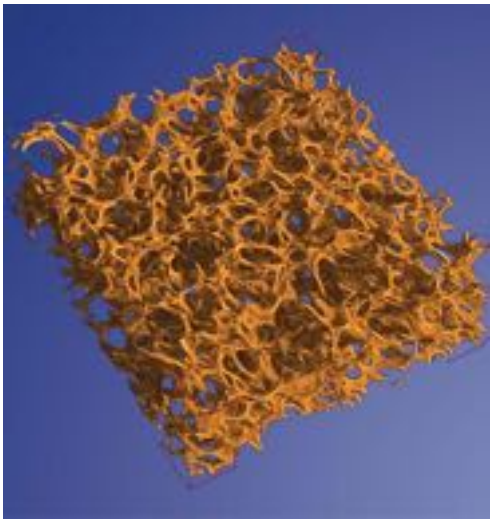

a) Llanta convencionale en las que se observa la pérdida de energía en forma de calor.
b) Llanta manufacturada con el material desarrollado por Sumitomo Rubber Industries, Ltd. en conlaboración con el sincrotrón japonés SPring-8.

• **Investigación de la microestructura de espumas poliméricas bajo procesos de deformación.** Una buena parte del desarrollo de nuevas tecnologías en la industria automotriz está enfocado en el estudio de nuevos materiales que reduzcan el ruido generado por los motores y otros partes movibles. Materiales superligeros conocidos como “espumas poliméricas” se utilizan para reducir el ruido y la vibración, debido a sus altas propiedades como aislante y su capacidad de absorber impactos. Pero debido a su estructura y composición, es muy difícil estudiar estas espumas mediante técnicas tradicionales.

Mediante la técnica de microtomografía de contraste de fase, disponible en Elettra, fue posible investigar lo que sucede en la microestructura de la espuma durante diferentes procesos de deformación. Con esta técnica, los investigadores pueden correlacionar la estructura del material, la resistencia a la deformación y sus propiedades aislantes. Además, el estudio morfológico hizo posible calcular la capacidad del material para absorber la energía proveniente de impactos y vibraciones.

Conjuntamente con el uso de la industria automotriz para mejorar la comodidad y seguridad de los vehículos, el nuevo polímero es bastante atractivo para la industria de empacado, debido a su ligereza y capacidad de absorber vibraciones [47].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Líneas: SYRMEP*
*Técnica: Microtomografía.*



Espuma polimérica a prueba de golpes.

### 5.4.2. Aeronáutica

**Análisis de estrés de un álabe de turbina.** Los álabes de turbina están sujetos a un intervalo de gradientes de temperatura, 1100 ° C en los bordes anterior y posterior, y 800 ° C alrededor de los conductos de refrigeración. Se tomó un muestra de una pala de turbina hecha de la aleación a base de níquel CMSX-6, proporcionada por la empresa **MTU Aero Enginges AG**. Primero, la hoja fue sujeta a una prueba misión acelerada por varios cientos de horas antes de ser investigada en diferentes posiciones a lo largo de varias secciones.

En el ESRF, Se siguió la variación del parámetro de red de la fases γ y γ' con una resolución espacial de 2 micras x 30 micras. El mapeo de tensiones reveló un cambio de las constantes de red en las primeras decenas de micrómetros bajo la superficie, cambio que nunca se habían observado hasta entonces. Esta nueva observación se explica por la superposición de dos efectos independientes: un esfuerzo de compresión paralela a la superficie y la difusión de átomos de Al de la capa protectora del material de turbina de cuchilla.

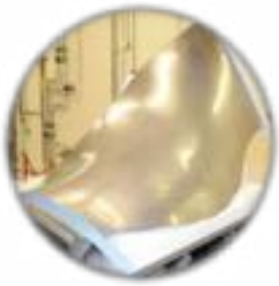
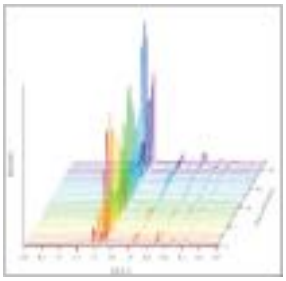
*Sincrotrón: ESRF.*
*Líneas: BM05 - Instrumentation Facility,*
*ID10 - Soft interfaces and coherent scattering.*
*Técnica: XRD.*

• **Análisis no destructivo de esfuerzos en álabes en turbinas.** [48] La empresa multinacional **Rolls-Royce**, parte del proceso de la producción varias de sus turbinas Trent es la aplicación de un tratamiento a la superficie de los álabes de dichas turbinas para incrementar la resistencia e integridad de las mismas, reduciendo la aparición y propagación de fracturas en el material.

Para la turbina Trent 1000, la empresa necesita una caracterización de la magnitud y profundidad de los esfuerzos de compresión inducidos por el tratamiento en sus turbinas. Los análisis regulares requieren maquinado del metal que posteriormente debe ser corregido.

Utilizando la técn ica de difracción de rayos X en este sincrotrón, se hicieron mediciones de los esfuerzos en álabes completos de las turbinas sin necesidad de realizar un análisis destructivo de estos componentes. Las mediciones realizadas requirieron de un tiempo considerablemente mejor, con una mayor precisión que los análisis de laboratorio y de una manera totalmente no destructiva, permitiendo la utilización posterior de las partes analizadas en el producto.

*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: I12 Joint Engineering, Environmental, and Processing (JEEP).*
*Técnica: XRD dispersiva.*

• **Recubrimientos de materiales cerámicos para turbinas.** [49] Con el objetivo de desarrollar turbinas que utilicen gases derivados del carbón, incluyendo el hidrógeno, reduciendo así las emisiones dañinas al medio ambiente y costos de producción, se requiere la utilización de materiales avanzados que resistan las altas temperaturas y reduzcan el peso de éstas, mejorando así su eficiencia y desempeño. Los materiales cerámicos basados en carburo de silicio y nitruro de silicio, por su resistencia a altas temperaturas y baja densidad son una solución a estos problemas. Sin embargo la presencia de vapor de agua, las altas presiones y temperaturas en las operación de las turbinas generan procesos de corrosión en las cerámicas. Para combatir estos efectos, se desarrollaron recubrimientos de multicapa que protegieran los substratos cerámicos.

Utilizando técnicas con rayos X de la luz de del sincrotrón APS, la empresa **Rolls-Royce** junto con la Northwestern University estudió los esfuerzos debidos a la diferencia de efectos sobre las cerámicas y el recubrimiento generados por los fuertes cambios de temperatura y presión presentes en los ciclos de las turbinas.

Los análisis permitieron entender la evolución de estos esfuerzos en los componentes, con lo cual se encontró que éstos podían ser minimizados con un sistema de recubrimiento de tres capas tratado con calor. Este tratamiento sirvió a la vez para corregir microfracturas generadas en el proceso de recubrimiento.

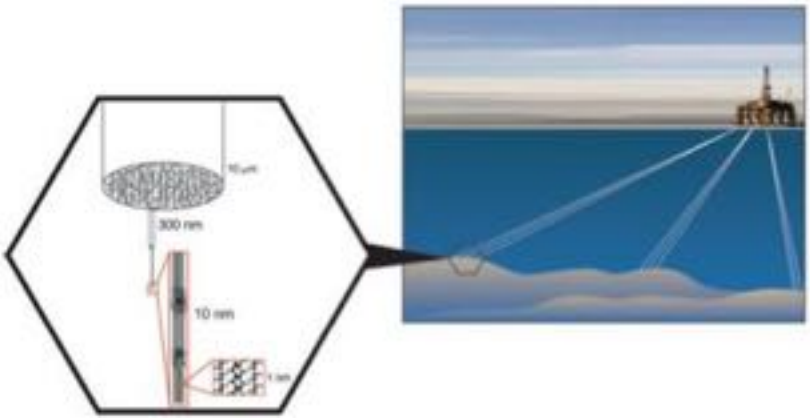
Soluciones como ésta hubieran sido imposibles de lograr sin las técnicas disponibles en una instalación de sincrotrón.

*Sincrotrón: APS.*
*Línea: 1-ID  High-energy X-ray Scattering.*
*Técnica: XRD.*

### 5.4.3. Semiconductores y Materiales Avanzados

• **Desarrollo de nuevos materiales para los cables de anclaje de plataformas petroleras.** Uno de los mayores retos tecnológicos en la exploración petrolera es el de los sistemas de anclaje de las plataformas en regiones presalianas. El sincrotrón LNLS asiste a la empresa brasileña **Braskem** en el desarrollo de nuevos materiales para la manufactura de los cables de los sistemas de anclaje para las plataformas de agua profunda, para esto el control de las micro y nanoestructuras de las fibras del cable es esencial en su desarrollo.

*Sincrotrón: LNLS.*




• **Caracterización de materiales en el proceso de manufactura de grafeno.** La empresa sueca **Graphensic AB** ha desarrollado un proceso de producción de grafeno a partir del carburo de silicio. Actualmente su proceso es capaz de producir obleas de 50 milímetros.

Ya que el grafeno es un material del espesor de un átomo, su proceso de producción requiere de controles de alta precisión, por lo que realizando mediciones con el SPELEEM (microscopía de electrones de baja energía y fotoemisión espectroscópica) de la línea I311 del sincrotrón MAX II se ha podido caracterizar el material, encontrándose además una mejora en el proceso de almacenamiento del grafeno.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I311- Soft X-Ray.*
*Técnica: SPELEEM.*

• **Análisis del proceso de oxidación del arseniuro de galio GaAs utilizado en la manufactura de electrónicos.** [50] Actualmente se utilizan tres materiales distintos para la manufactura de dispositivos electrónicos: el silicio Si, el carburo de silicio SiC y el nitruro de galio GaN, sin embargo su desempeño se ve afectado en altas densidades de energía, temperaturas y corriente. Por todo eso, el arseniuro de galio GaAs ha comenzado a ser usado en la manufactura de microelectrónicos. La compañía **Clifton AS** ha desarrollado una tecnología especial para la manufactura de GaAs eficiente de baja capacitancia y buen desempeño en alto voltaje. Sin embargo, este proceso de manufactura es extremadamente sensible a procesos de oxidación, los cuales no pudieron ser observados en los laboratorios convencionales de Clifton. Este proceso, en cambio, fue inmediatamente observado utilizando la técnica de espectroscopía de fotoelectrones de rayos x en análisis llevados a cabo en la línea I311 del sincrotrón MAX II. La observación y control del proceso de oxidación permitió a la compañía Clifton refinar su proceso de manufactura.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I311- Soft X-Ray.*
*Técnica: XPS.*

• **Detectores de gases tóxicos de nanotubos.** Los nanotubos son unos de los productos más interesantes de la nanotecnología. Existen tubos finos hechos de varios materiales con un diámetro de algunos nanómetros y con longitudes de hasta algunos milímetros. En particular, los nanotubos de carbono son bien conocidos por varías de sus notables propiedades y por ser unos excelentes nanosensores químicos.

Algunos experimentos realizado en Elettra mostraron que incluso concentraciones muy pequeñas de gases tóxicos, como dióxido de nitrógeno, dióxido de sulfuro, óxido nítrico y amoniaco, pueden alterar drásticamente las resistividad eléctrica de nanotubos de carbono. Estos resultados iniciales sugieren que dentro de algunos años será posible la producción y comercialización de los primeros detectores de gas basados en nanotubos. Si sobre sus superficies se ligan moléculas específicas, los nanotubos pueden servir como nanosensores capases de detectar moléculas biológicamente interesantes y agregados moleculares como el ADN, proteínas y virus [51].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 2.2R Super ESCA.*
*Técnica: Fotoemisión de alta resolución.*

• **Estudio de defectos cristalinos en obleas de silicio para dispositivos semiconductores.** [52] El silicio en tensión es un nuevo material que se encuentra en rápido desarrollo en la producción de transistores de silicio de alto desempeño. Con sólo un pequeño aumento en la estructura cristalina del silicio se incrementa dramáticamente la movilidad de las cargas en el material, permitiendo construir de esta manera dispositivos digitales más rápidos y de mejor desempeño. Durante el proceso de manufactura de este material, que consiste en poner una capa de germanio-silicio en un substrato de silicio y después agregar otra capa de silicio, aparecen ocasionalmente defectos en la estructura cristalina que degradan la calidad y desempeño del material. Para poder mejorar el proceso de manufactura de estos materiales se necesita entender primero el mecanismo que ocasiona los defectos en la red cristalina de las diferentes capas Si-SiGe-Si en el material.

La empresa **AmberWave Systems Co.** Junto con el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos (NIST por sus siglas en inglés) utilizaron una técnica de difracción de rayos X en el sincrotrón ALS llamada topografía de rayos X, en la que se combina la incidencia del haz a un ángulo extremadamente pequeño y el uso de rayos X altamente monocromáticos y sintonizados a diferentes frecuencias para poder distinguir las contribuciones de los distintos elementos presentes en las diferentes capas. Se logró detectar que los defectos presentes inicialmente en la capa de SiGe servían como “molde” y propagaban estos mismos defectos en la capa de silicio en tensión.

Gracias a este conocimiento, hecho posible solamente con luz de sincrotrón, el proceso de producción del silicio en tensión podrá ser modificado para mejorar su calidad.

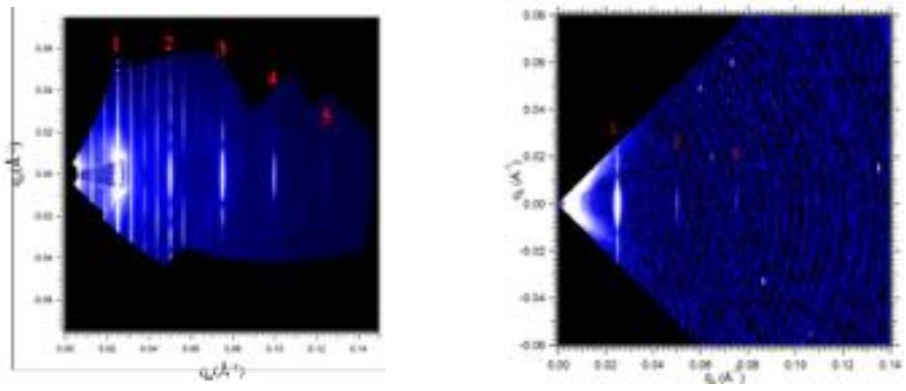
*Sincrotrón: APS.*
*Línea: 33-BM - Multi-Purpose General Scattering.*
*Técnica: Topografía de rayos X.*

Topografía de rayos X de tres diferentes estratos en una oblea de silicio muestran correspondencia en los defectos

• **Análisis de la estructura de copolímeros para manufactura de nuevos semiconductores.** [53] Los copolímeros en bloque son nuevos materiales poliméricos autoensamblantes que han sido propuestos para la manufactura de semiconductores en gran volumen y costo reducido, a escalas nanométricas. Estos materiales se construyen conectando patrones repetidos de polímeros, estos patrones deben ser perfectamente idénticos por lo que se necesita una completa medición de éstos. Sin embargo la falta de herramientas metrológicas para caracterizar la estructura de estos polímeros no ha permitido el desarrollo de su manufactura.

La empresa **IBM** en conjunto con el Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías (NIST) desarrollaron una técnica de análisis utilizando dispersión de rayos X en resonancia crítica a ángulos pequeños (res-CDSAXS) en el sincrotrón ALS en California, E.U. Esta técnica ha permitido medir las características finas de la estructora de los materiales en cuestión. El sincrotrón ALS es el único lugar en el mundo hasta el momento capaz de hacer dichas mediciones.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 11.0.1 - PEEM3 / Soft X-ray Scattering.*
*Técnica: res-CDSAXS.*

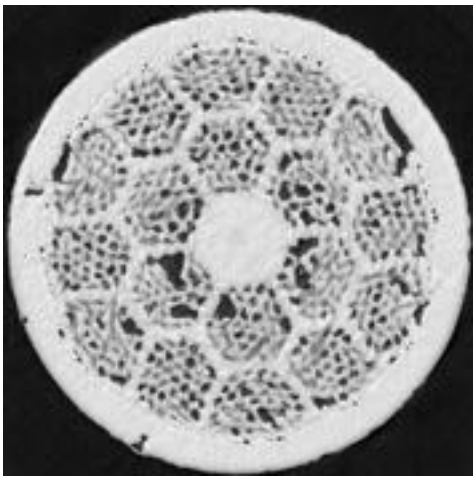


Patrón de resonancia compuesto de películas de coplímeros en bloque: a)rayos X duros b)rayos X suaves resonantes

• **Estudio del proceso de fabricación de un material superconductor de alta temperatura.** En conjunto con la compañía **Oxford Instruments** el ESRF estudio un material superconductor de alta temperatura que se puede hacer en forma de cables, el llamado Bi2212. Las burbujas formadas en filamentos de un cable superconductor durante la fabricación tienen un efecto negativo sobre la densidad de corriente crítica del producto final. Los estudios de tomografía de rayos X durante el proceso de fabricación permiten estudiar la evolución de las burbujas.

Gracias al alto flujo y alta energía de los rayos X se obtuvieron tomografías rápidas de los cables de Bi2212 en el sincrotrón. Estas tomografías rápidas se tomaron mientras el alambre fue puesto bajo los tratamientos térmicos de fabricación. Así fue posible entender el proceso y elaborar la metodología necesario para mejorar los futuros alambres superconductores, mediante la eliminación de la formación de las burbujas durante las primeras etapas de fabricación [54].

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID15 - Materials Chemistry and Materials Engineering.*
*Técnicas: Microtomografía de absorción; XRD.*



Tomografía de rayos X de la sección transversal de un cable de Bi2212 en su estado final del proceso. Las zonas oscuras son burbujas, las zonas medianamente grises son el Bi2212 y las regiones más brillantes representan la plata presente.

**•Estudio a nivel nanométrico de las velas de barcos de regata.** Las velas para barcos de regata están hechas de materiales innovadores extremadamente ligeros, los cuales tienen un alto desempeño en condiciones de carrera. Los detalles estructurales del material son virtualmente invisibles bajo la exanimación de técnicas radiográficas tradicionales. Además, la preparación de muestras para el análisis con microscopios de electrones provoca importantes cambios estructurales en el material.

El uso de microradiografía por contraste de fase en Elettra permite el estudio de estos materiales y la definición de las estructuras a nivel nanométrico incluyendo la preservación de la integridad de la muestra. Las telas de las velas están hechas de capas de textil extremadamente fino pegadas entre sí. La imagenología de fase es una técnica muy valiosa para revelar las burbujas de aire que se forman durante el proceso de pegado, las cuales podrían comprometer el desempeño en la competencia deportiva.

Durante los estudios, se contó con la posibilidad de simular variaciones en parámetros como humedad, salinidad y temperatura; o realizar pruebas de uso y desgaste, tales como el doblado repetitivo. Con esto se obtuvo una excelente herramienta de diagnóstico que puede establecer nuevas fronteras en el desarrollo de estos materiales [55].

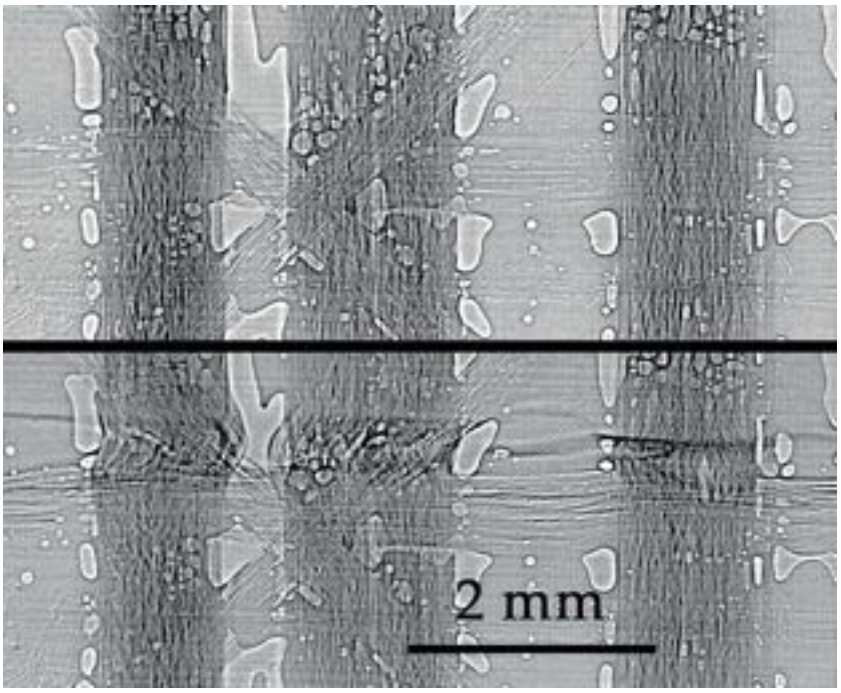



Imagen de radiografía por contraste de fase de telas de vela usadas para competición obtenidas mediante luz sincrotrón.

**•Estudio y desarrollo de memristores.** [56] Los memristores son dispositivos que se suman a los componentes pasivos de circuitos electrónicos: resistencias, capacitores, inductancias y memristores. Los memristores se caracterizan por “recordar” cambios aun cuando ya no hay corriente de energía. Estos dispositivos permitirían el desarrollo de memorias de almacenamiento digital avanzadas y altamente eficientes, pudiendo sustituir la memoria flash actualmente en uso con memoria basada en memristores. Los memristores se construyen colocando un material aislante entre dos electrodos metálicos y su comportamiento consiste en que la resistencia eléctrica que presentan estos dispositivos se modifica según la corriente eléctrica que se les aplique.

Con las técnicas de análisis disponibles en los sincrotrones la división de laboratorios de la empresa **HP** ha sido capaz de estudiar estos dispositivos con una resolución sin precedentes. Utilizando la técnica de microscopía de transmisión de barrido de rayos X (STXM) con rayos X suaves, se pudo obtener información química y estructural de los procesos que ocurren durante el funcionamiento del memristor con una resolución de 30 nanómetros. Se logró descubrir que procesos electroquímicos y térmicos son algunos de los responsables del comportamiento característico de los memristores: al examinar con STMX uno de estos dispositivos hecho con dióxido de titanio TiO2, se observó que estos procesos condensaban huecos de oxígeno en la estructura, reordenándose para formar Ti4O7 , el cual pasa por una transición de aislante a metal cuando se le calienta.

Estos descubrimientos también impactan en el desarrollo de neuristores que son dispositivos que reproducen algunas propiedades de las neuronas.

*Sincrotrón: ALS.*
*Líneas: 5.3.2 Polymer scanning transmission x-ray microscopy (STXM)*
*11.0.2 Molecular Environmental Science.*
*Técnica: STXM.*

Vista desde arriba de memristor utilizando microscopía de escaneo de transmission de rayos X (STXM).

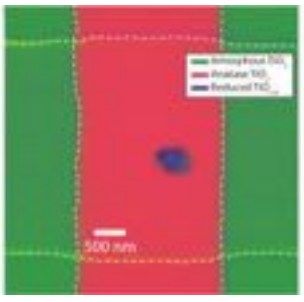


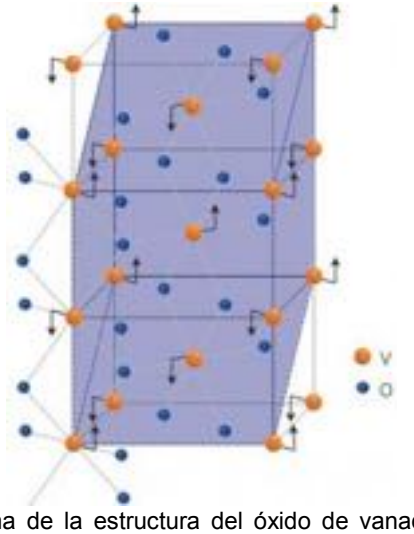

Imagen de un arreglo cruzado en un memristor con alambres de 50µm de diámetro.

• **Análisis de la transición de fase del óxido de vanadio para intercambiadores ultra-rápidos.** [57] El óxido de vanadio es una sustancia se comporta como aislante eléctrico a bajas temperaturas y en cierta temperatura sufre un cambio de fase abrupto comportándose ahora como metal a más alta temperatura.

La compañía **IBM** busca controlar este cambio de fase por otros medios, como por ejemplo la presencia de campos eléctricos, con el fin de utilizar el material para manufacturar dispositivos electrónicos de alta velocidad y eficiencia energética, como los intercambiadores ultra-rápidos. Para entender mejor este proceso bajo diferentes condiciones, IBM utilizó la luz altamente polarizada generada en el sincrotrón ALS para realizar experimentos de espectroscopía por absorción de rayos X en películas de óxido de vanadio en diferentes condiciones de temperatura, esfuerzos y polarización electromagnética.

Dichos estudios permitieron caracterizar el proceso en el que este material cambia de ser un aislante a ser un metal conductor de la electricidad; estudios que no hubieran podido ser llevados a cabo en laboratorios convencionales.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 4.0.2 Magnetic Spectroscopy.*
*Técnica: XAS.*

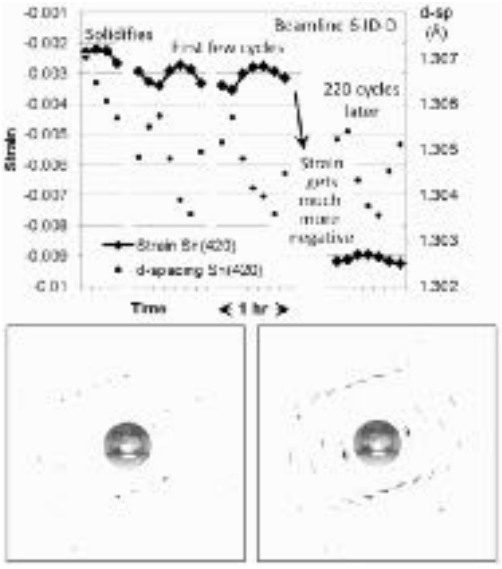



Esquema de la estructura del óxido de vanadio que muestra el movimiento del vanadio (flechas negras) con respecto al oxígeno a través de la transición metal-aislante.

• **Estudio del desgaste térmico en soldadura libre de plomo.** [58] [59] En la industria de telecomunicaciones, se espera un largo tiempo de vida en los electrónicos, y por tanto una tasa de fallas baja. Por ello, la empresa **Cisco Systems** acudió a las líneas 6-ID-D y 34-ID-E del sincrotrón APS para realizar estudios in situ de las uniones de soldadura SAC305 libres de plomo utilizadas en sus dispositivos electrónicos. Los investigadores en el caso desarrollaron nuevas técnicas de análisis para monitorear el mecanismo de falla en las uniones. Con técnicas de difracción de rayos X revelaron la evolución de la orientación del cristal de la soldadura y los patrones de fatiga durante ciclos de temperatura en estas uniones de soldadura de estaño libre de plomo.

Gracias a estas técnicas se pudo apreciar que en algunas uniones se tiene un solo cristal al solidificarse la soldadura mientras que en otras se tienen tricristales. En estudios convencionales y con microscopio electrónico, las pruebas usualmente son destructivas, y permiten ver la microestructura sólo después de haber realizado los ciclos térmicos y de manera bidimensional, por lo que no se puede observar la estructura debajo de la superficie que queda expuesta; pero con estas técnicas disponibles en el sincrotrón se puede monitorear en 3D y durante todo el ciclo térmico qué es lo que está sucediendo en la unión de soldadura en su totalidad. Pudiéndose observar mecanismos de recristalización durante el proceso, resultando en cambios de orientación de los cristales.

*Sincrotrón: APS.*
*Línea: 6-ID-D - High-energy Scattering; 34-ID-E - Microdiffraction.*
*Técnica: XRD.*




El esfuerzo en la unión de soldadura es medido *in situ* por el desplazamiento máximo de los patrones de difracción durante ciclos de temperatura.

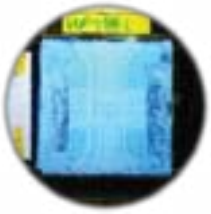
• **Análisis del ordenamiento y orientación de nanopartículas en coloides como alternativa a cristal líquido en pantallas.** [60] Las pantallas de cristal líquido son extremadamente ineficientes, aproximadamente sólo un 9% de la luz generada es emitida debido a las características del cristal líquirdo utilizado y los diferentes filtros de color y polarización que tiene que atravesar la luz.

La utilización de sustancias coloides inteligentes que responden a campos eléctricos cambiando de tonalidad es una opción alternativa innovadora que la compañía **HP** está desarrollando.

La utilización de técnicas de difracción no cristalina con luz sincrotrón para analizar estos coloide, permitió a HP monitorear el ordenamiento y la orientación de las partículas en suspensión en el coloide, y gracias a la resolución temporal de fracciones de milisegundo, se pudieron monitorear en tiempo real los cambios estructurales en el material al aplicársele campos eléctricos.

Este tipo de estudio, permite identificar y controlar materiales adecuados para el desarrollo de esta nueva tecnología en pantallas electrónicas más eficientes.

*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: I22 Small Angle Scattering & Diffraction.*
*Técnica: Difracción microcristalina.*



• **Estudio de contaminantes presentes en las microboquillas del cabezal de impresoras.** La compañía productora de impresoras **Memjet** fabrica una cabeza de impresora con más de 70,400 inyectores que aumentan dramáticamente la velocidad de impresión. Para las microboquillas en el cabezal de impresión revolucionaria de Memjet, motas de contaminantes mucho más pequeñas que incluso el ancho de un cabello humano pueden ser importantes.

La microscopía infrarroja es un medio excelente para identifica pequeñas cantidades de material orgánico. Sin embargo, los microscopios infrarrojos comunes carecen de la capacidad para medir dichos especímenes minúsculos. El Sincrotrón Australiano ha sido la clave para proporcionar el brillo suficiente para identificar estas partículas muy pequeñas y ayudar a rastrear su origen.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: IRM - Infrared Microespectroscopy.*
*Técnica: Microespectroscopía infrarroja.*

## 5.5. Industria Química

En la industria química, el sincrotrón es de gran utilidad tanto en investigación y desarrollo como para procesos de manufactura. Las técnicas de absorción de rayos X permite el monitoreo de reacciones químicas en tiempo real, y la caracterización del tipo y estado de oxidación de los reactantes, debido a esto es muy utilizado para el desarrollo de catalizadores. El sincrotrón es capaz de analizar la estructura molecular de plásticos, materiales compuestos, polímeros y elastómeros por medio de sus técnicas de difracción y difusión de rayos X, microtomografía, morfología y monitoreo de síntesis, aparte de poder estudiar las propiedades mecánicas y el control de calidad en procesos de fatiga y desgaste. Los casos de estudios encontrados se muestran a continuación.

### 5.5.1. Procesos de Corrosión

**• Investigación de la formación de capas de óxido de hierro y sus roles en el mecanismo de corrosión.** EnDURE$^{TM}$ PF es un proceso de revestimiento de conversión sin fosfatos de metal industrial de los sistemas de tratamiento. Este proceso está diseñado para eliminar la suciedad, aceites y residuos de óxidos y convertir la superficie de varios de acero y base de aluminio metales vírgenes para su posterior sello y el procesamiento de la capa superior. La etapa de pretratamiento contiene un polímero conductor intrínseca (ICP) dispersión. Debido al comportamiento redox de la ICP de la superficie de hierro se oxida y se forma una película delgada de óxidos de hierro.

En el sincrotrón PETRA III, **Enthone GmbH** realizó una investigación de las capas de óxido de hierro formados en las diferentes etapas del proceso y su papel en el mecanismo de corrosión.

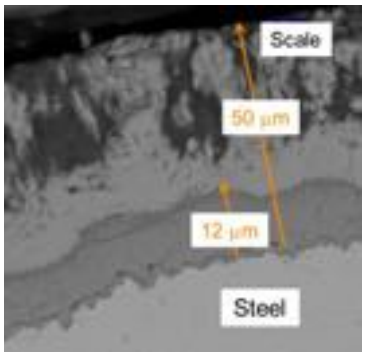
*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P08 - High Resolution Diffraction.*
*Técnica: XRD.*

• **Análisis del proceso de acumulación del sulfuro de hierro, afectando la corrosión del acero.** [61] En las tuberías y equipos de las plantas generadoras de energía suelen acumularse capas de sulfuro de hierro, las cuales representan una capa protectora contra la corrosión del material, estas capas protectoras surgen de las reacciones químicas entre los diferentes fluidos de los procesos y el acero de las tuberías y equipos. Sin embargo no se conoce bien los procesos de creación y acumulación de estas capas, ya que varían inmensamente según la reacción en cuestión, las diferentes presiones, los grosores del material e incluso la forma de los equipos (por ejemplo se acumulan capas diferentes en codos de tubería, que en tramos rectos), aparte de la presencia de fases menores, capas de óxido o aleaciones de silicio.

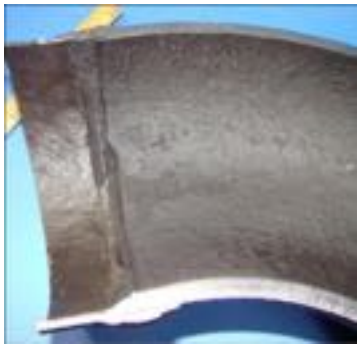
La empresa **Chevron Technology Company** ha utilizado la línea 12.3.2 del ALS, para analizar estas capas protectoras de sulfuro de hierro. Utilizando técnicas de microdifracción de rayos X y gracias a la precisión y colimación del haz de luz sincrotrón, la resolución espacial de los análisis permitió determinar de manera exacta la localización de las diferentes fases y compuestos presentes en estas capas protectoras, pudiendo estudiar de manera precisa su comportamiento.

Este estudio impactará en el manejo y gestión de las técnicas de producción para extender la vida útil de equipos mejorando así las condiciones de seguridad de trabajadores de las plantas, aparte de permitir una planeación más eficiente en el mantenimiento de las plantas.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 12.3.2 X-ray Microdiffraction.*
*Técnica: Micro XRD.*




Corte seccional de tubería de acero. Escama de corrosión con multicapas con una capa interna de 12µm



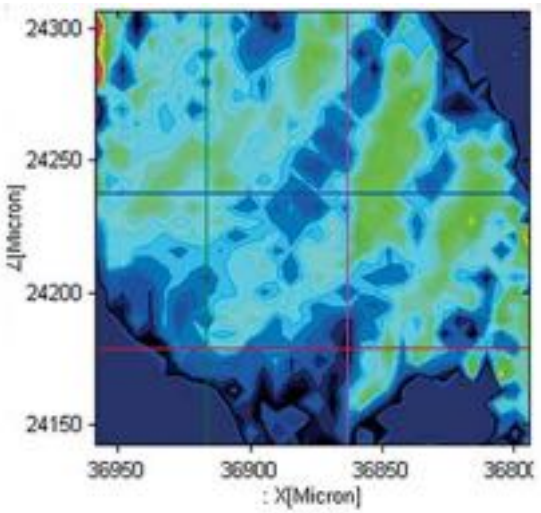
### 5.5.2. Catalizadores

• **Optimización de procesos de biocatálisis para la industria**. Para promover la explotación económica de biomasa y productos residuales de la agroindustria como, azucares, celulosa, almidón y aceites, se están haciendo estudios sobre nuevos procesos biocatalíticos que involucran catálisis mediante enzimas. Normalmente, estos procesos no compiten con los de química clásica debido a la baja eficiencia de los biocatalizadores. Para el uso en la industria, es necesario incrementar la estabilidad enzimática, así como la opción de recuperación y reciclaje y así la catálisis sea productiva y mejoren los costos de enzima por kilogramo del producto final. Mediante la captura de las enzimas responsables de los procesos catalíticos dentro de estructuras de soporte sólidas e insolubles, es posible superar los problemas de producir biocatálsis estas propiedades.

Para estudiar estos procesos y su eficiencia se pude utilizar la luz sincrotrón y la técnica de FTIR. En Elettra se llevó a cabo un estudio en un soporte de inmovilización (ácido 3-nitropropiónico), en el que se consiguió seguir visualmente la cinética de la difusión dentro de una matriz porosa.

Debido a la extrema sensibilidad de esta técnica y la alta intensidad de la luz sincrotrón, es posible obtener espectros de alta resolución con los que se provee información que de otra forma sería inaccesible; de esta manera se proporciona un nuevo, efectivo y rápido enfoque al estudio de los mecanismos de difusión de estos nuevos biocatalizadores [62].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 9.1 - SISSI Synchrotron Infrared Source for Spectroscopy and Imaging.*
*Técnica: Espectrosopía FTRI.*



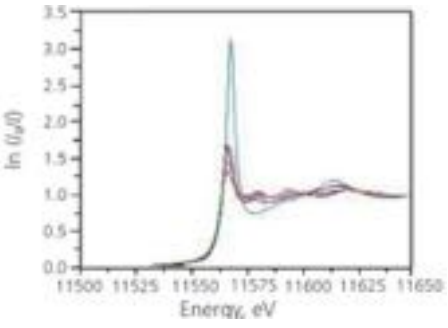

Distribución del ácido 3-nitropropriónico en una sección de la matriz de inmovilización a un tiempo de 10 minutos.

• **Caracterización de compuestos presentes en los catalizadores de control de emisiones.** [63] [64] Los metales del grupo del platino se utilizan principalmente para el control de emisiones vehiculares, en particular para la reducción de emisiones de partículas de monóxido de carbono CO, de nitratos NOx y de hidrocarburos.

Para la caracterización de estos catalizadores, la mayoría de las técnicas de análisis utilizadas necesitan realizarse al alto vacío, por lo que el comportamiento de estos compuestos en condiciones normales de operación no se conocen; además de esta situación, existe la posibilidad de que se generen cloroplatinatos tóxicos durante la operación en condiciones específicas, las cuales no pueden ser estudiadas al alto vacío.

La empresa **Johnson Matthey**, especializada en desarrollo de químicos y tecnologías sustentables, utilizó la técnica de espectroscopía por absorción de rayos X (XAS) en el sincrotrón Diamond en Inglaterra para determinar la diferencia entre los compuestos presentes en los catalizadores de control de emisiones de diesel recientemente sintetizados y los previamente utilizados en operaciones industriales, obteniendo así un detallado análisis in situ en condiciones operativas que reveló la presencia de mezclas diferentes de compuestos oxídicos y metálicos en los catalizadores y su estado de oxidación.

*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: B18 - Core XAFS.*
*Técnica: XAS.*

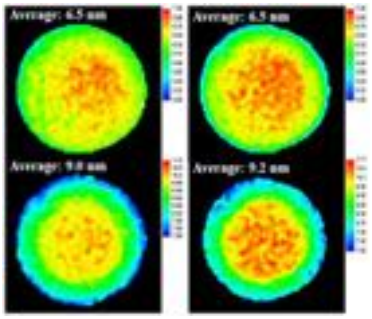


• **Análisis de catalizadores Fischer-Tropsch en tiempo real.** La compañía **British Petroleum** en colaboración con el Catalyst Hub y el ESRF por medio de una beca postdoctoral analizó el comportamiento de pellets de catalizador Fischer-Tropsch durante su proceso de reducción, con el fin de lograr pequeños incrementos en la eficiencia del proceso ya que esto propicia ahorro de energía, reducción de costos y crea una economía más "verde" para la compañía.

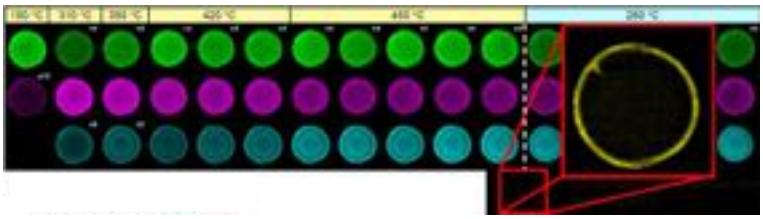
En la línea de alta energía ID15 del ESRF se utilizó la técnica de difracción de polvo para generar mapas de fase que dieran información en tiempo real durante el proceso de reducción del catalizador $Co/Al_2O_3$ FT al someterlo a ciclos de temperatura, donde se pudo observar el cambio en las fases de compuestos de cobalto; aparte se realizaron mapas de tamaño de partícula durante dicho proceso.

Los resultados de estos estudios tienen un impacto inmediato en la capacidad catalítica del pellet de catalizador. Entendiendo todo esto, inclusive de un sistema ya bien conocido y estudiado como los catalizadores Fischer-Tropsch, le permiten a empresas como BP entender más acerca de sus procesos

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID15 - Materials Chemistry and Materials Engineering.*
*Técnica: XRD en polvo.*



Tamaño de partícula de pellets de $Co/Al_2O_3$.

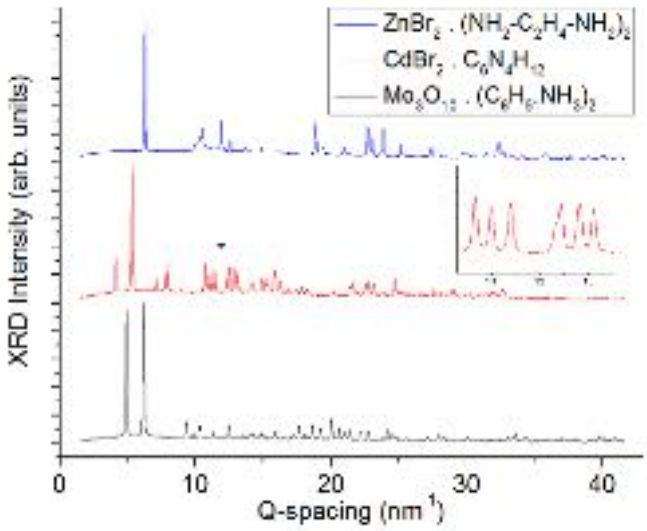


Proceso de cambio de fase en la reducción del $Co/Al_2O_3$ durante los ciclos de temperatura

• **Nuevos materiales modernos de catálisis limpios y amigables con el medio ambiente.** En el siglo XXI se han presentado importantes resto como el de la reducción de emisiones de CO2. La compañía polaca **FAMAR** produce catalizadores para procesos industriales que limitan la emisión de gases dañinos y que al mismo tiempo son útiles para almacenar gases como el CO2 y el H2. Muchos de sus catalizadores consisten mezclas complejas de metales o cúmulos de metales cuya estructura es desconocida.

Para entender la estructura cristalina de estos materiales novedosos se realizaron estudios en DESY (PETRA III). Se utilizó la difracción de rayos X, debido a la alta intensidad del haz proveniente del sincrotrón fue posible medir patrones de difracción con una definición superior a los que se obtienen en los laboratorios convencionales. Algunas fase presentes en los materiales analizados fueron por fin develadas por los estudios en el sincrotrón, ya que en las fuentes comunes los picos de difracción se superponían (indicados con un asterisco en la figura) o simplemente eran indetectables. Estas mediciones le han permitido a FAMAR determinar las estructuras de nuevos catalizadores modernos, para tecnologías más limpias.

*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P02 - Hard X-ray Driffraction.*
*Técnica: XRD.*



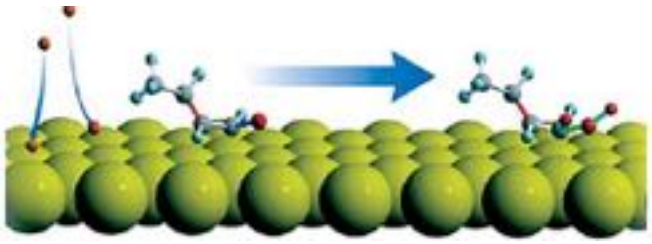

Varios patrones de difracción para algunos compuestos producidos por FAMAR, medidos en DESY. El recuadro interno resalta la alta resolución que se puede obtener en una fuente de luz sincrotrón, la cual es imposible de obtener en laboratorios típicos.

• **Estudio de la catálisis en tiempo real**. Los catalizadores son sustancias que provocan que las reacciones químicas se den fácilmente y rápidamente, sin que se consuman durante el proceso. La industria hace un uso amplio de catalizadores para producir productos para el consumidor, como fármacos, plásticos, combustibles y fertilizantes. Los catalizadores eficientes y efectivos contribuyen al ahorro de energía, procesos industriales más seguros y en reducir el impacto en el medio ambiente. Por lo tanto, los investigadores estudian la dinámica de las reacciones químicas involucradas en la catálisis para entender los procesos, optimizarlos y desarrollar catalizadores más eficientes. Sin embargo, a menudo este tipo de estudios genera información importante sólo cuando se realizan medidas cuantitativas en tiempo real.

En Elettra, en la línea de haz SuperESCA es posible realizar estudios en tiempo real de procesos que ocurren en el intervalo temporal de algunos segundos hasta 100 microsegundos- Es por lo tanto una herramienta ideal para analizar sistemas catalíticos. En un estudio hecho en SuperESCA, investigadores de la Universidad de Cambridge descubrieron que el cobre (el cual normalmente no tiene un efecto catalítico en la reacción química que convierte crotonaldehido en alcohol insaturado), se transforma en un catalizador 100% efectivo cuando tiene sulfuro en la superficie. Esa reacción química es particularmente interesante, y de considerable importancia, para muchas áreas de la industria química.

Con la demanda emergente en años recientes de nuevos tipos de catalizadores basados en nanotecnología, la herramienta analítica SuperESCA ha sido capaz de ayudar al esfuerzo en la caracterización completa de los procesos catalíticos, un requerimiento esencial para el diseño de catalizadores innovadores [65].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 2.2R Super ESCA.*
*Técnica: Fotoemisión de alta resolución.*



Esquema del proceso de hidrogenización del crotonaldehido en la superficie de un cristal de cobre.

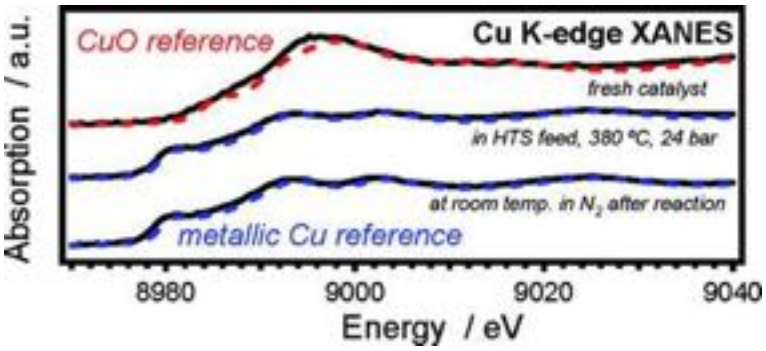
• **Análisis de magnetita estabilizada con cromo y cobre como catalizador para su mejoramiento.** [66] Los catalizadores son substancias que estimulan las reacciones químicas sin ser consumidos y por lo tanto de gran importancia para diferentes sectores industriales.

La multinacional danesa **Haldor Topsøe**, especializada en la producción y desarrollo de catalizadores para la industria petrolera y de fertilizantes, utiliza la luz de sincrotrón para realizar análisis de la estructura y propiedades de dichos compuestos. Un ejemplo de ello es la magnetita estabilizada con cromo y cobre, esta sustancia es utilizada como catalizador para la reacción de agua con monóxido de carbono utilizada en la industria química para producir hidrógeno, el cual es luego utilizado en la producción de metanol y amoníaco.

La técnica XAFS utilizada con luz sincrotrón reveló información importante del comportamiento de este catalizador, por ejemplo, el cambio en la estructura del cobre en diferentes condiciones presentes en los procesos industriales.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I811 – Materials Science.*
*Técnica: XAFS.*

Resultados XAFS de las mediciones de $Fe_3O_4$ estabilizada con cromo desde el cobre bajo diferentes condiciones industriales



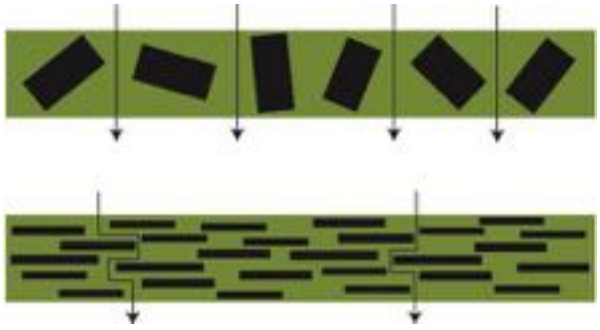
• **Desarrollo de nuevos catalizadores que incrementen productividad en la industria petroquímica y automotriz.** El uso de la radiación de sincrotrón es crucial para el estudio de catalizadores utilizados por la industria química, automotriz y petroquímica. La compañía brasileña **Oxiteno** acudió al sincrotrón LNLS para el desarrollo de un nuevo catalizador que incrementara la productividad de manera significativa. La radiación de sincrotrón contribuye también a entender los procesos de catálisis heterogénea utilizados en la conversión "verde" de biomasa a energía, combustibles y químicos. En los experimentos llevados a cabo en el LNLS es posible observar estos procesos microscópicos en tiempo real y en condiciones reales.

*Sincrotrón: LNLS.*

### 5.5.3. Plásticos y Polímeros

• **Análisis de la matriz polimérica en compuesto para material de empaque.** La empresa multinacional **TetraPak.** [67] proveedora de soluciones de empaque y procesamiento de alimentos presente en todo el mundo, continuamente desarrolla nuevos materiales para sus productos de empaque. Un ejemplo de ello es el desarrollo de un compuesto polimérico desarrollado para mejorar la impermeabilidad ante el flujo de gases comparado con las películas plásticas convencionales e incrementar así la vida de anaquel de los productos empacados.
Un análisis realizado con luz sincrotrón utilizando la técnica SAXS, la cual es sensible a la distribución, orientación y agregación de partículas en un compuesto, ayudó a entender la distribución de las partículas en la matriz polimérica del material y cómo influenciaba dicha estructura al comportamiento del compuesto.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I911 - Small Angle X-ray Scattering.*
*Técnica: SAXS.*



Aumento de la tortuosidad en la trayectoria de las moléculas de gas.

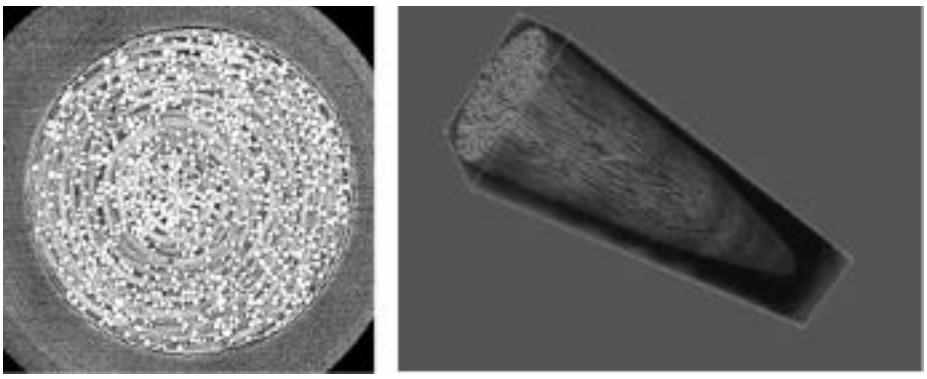
• **Estudio de la calidad de resinas poliméricas recicladas.** [68] La empresa **TE Connectivity** es una multinacional dedicada a la manufactura de productos de conectividad para la industria automotriz, telecomunicaciones, aeroespacial, energética y de salud.

TE Connectivity utiliza resinas poliméricas para el *housing* de sus conectores, actualmente está comprometida con utilizar resinas poliméricas recicladas con miras a cumplir sus objetivos de sustentabilidad aparte de reducir sus costos.

Uno de los retos de utilizar materiales reciclados es que su desempeño no es tan predecible: en las resinas poliméricas nuevas, las fibras de refuerzo están distribuidas en patrones predecibles, sin embargo en las resinas recicladas, el tamaño y la orientación de las fibras es aleatorio y puede impactar de manera significativa en el desempeño del material, ocasionando así que aparezcan más variables en el proceso de inyección y moldeo.

La compañía ha acudido al sincrotrón ALS para desarrollar conectores más eficientes, especialmente en la línea 8.3.2, donde se obtuvieron tomografías 3D-CT de alta resolución, en las cuales puede visualizarse como están alineadas las fibras dentro del material, permitiendo determinar la cantidad de resina reciclada que puede ser incorporada a sus producto manteniendo los altos estándares de calidad de la compañía.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 8.3.2 - Hard x-ray microtomography.*
*Técnica: Tomografía.*



*Tomografía de polímero reforzado con fibra de vidrio: corte seccional e imagen 3D.*

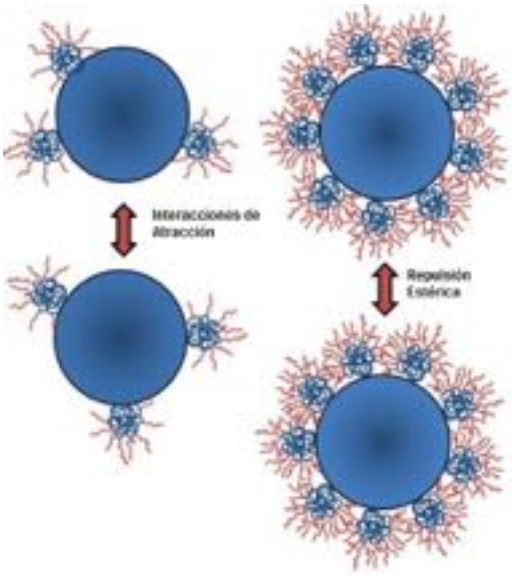
### 5.5.4. Químicos

**• Los dispersantes en pinturas, pigmentos y colorantes.** Los agentes dispersantes son cruciales para diversos campos de aplicación tal como en pinturas, plásticos, cosméticos y la construcción. En general, los agentes dispersantes mejorar la homogeneidad de un sistema de partículas por ser absorbidos a superficies de las partículas y ayudan en compatibilización del medio circundante y la mediación de las interacciones de partículas. Esto ayuda mejorar la fuerza del color y la estabilidad en las pinturas y cosméticos, el endurecimiento y la fuerza en la construcción así como las propiedades mecánicas en los plásticos.

La compañía **Evonik Industries** produce una gran variedad de sistemas que requieren el uso de dispersantes, pero hasta ahora el modo real de acción es muy poco conocida. Para ayudar a entender estos sistemas, se realizaron una serie de medidas mediante SAXS en el sincrotrón PETRA III.

Se encontró que en baja concentración, el dispersante cubre insuficientemente la superficie de las partículas dispersadas, por lo que no puede apantallar de una forma completa las interacciones entre las partículas. En el caso de alta concentración, es decir, cuando se cubre la superficie de las partículas, aparecen interacciones repulsivas entre las partículas dispersadas. Se espera que con la mejora en el entendimiento de la acción de las moléculas dispersantes lleve a una optimización de los productos de Evonik.

*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P10 - Coherence Applications.*
*Técnica: SAXS.*




Representación de la estructura de las partículas y los dispersantes.

• **Análisis de celulosa como espesante en productos de limpieza.** [69] En los productos limpiadores, el componente que realiza la función limpiadora es el surfactante, la proporción necesaria para llevar a cabo esta función es muy pequeña, sin embargo, las cantidades presentes son mucho mayores debido a que se utiliza también como espesante.

En un intento de utilizar materiales más eco sustentables, se ha propuesto la utilización de celulosa como espesante, sin embargo no se conoce en realidad su comportamiento de gelación en diferentes condiciones ambientales, por lo que este proceso no puede ser controlado.

Utilizando luz sincrotrón, una colaboración de diferentes instituciones y empresas, incluyendo **Unilever** y **Croda Specialty Chemicals**, investigaron la microestructura de una forma de celulosa biodegradable y dispersiva. La celulosa en forma de gel fue analizada con diferentes formulaciones en variadas condiciones de salinidad, tipos de sales, tipos de surfactantes y niveles de pH. Cambios en la estructura del gel fueron monitoreados en tiempo real en presencia de otros componentes como perfumes y otros alcoholes.

Gracias a estas investigaciones, va a ser posible el desarrollo de productos de limpieza que utilicen menos componentes dañinos al ambiente y que reduzcan los costos de manufactura..

*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: I22  Small Angle Scattering & Diffraction.*
*Técnica: SAXS.*

• **La micro-difracción de rayos X de los contenedores de plástico.** Las propiedades físicas tales como la resistencia y la permeabilidad de gas de los envases de plástico hechos de PET (tereftalato de polietileno) dependen del grado de orientación y la cristalinidad del polímero, así como de su homogeneidad a lo largo de la botella. Una botella de PET mal hecha, llena de una bebida carbonatada, puede ser permeable a las moléculas de $CO_2$, con una pérdida desastrosa de las burbujas.

Las botellas de PET son hechas por una preforma amorfa mediante el soplado en un molde frío de moldeo por inyección. Durante este proceso, el polímero sufre una amplia gama de gradientes de temperaturas en diferentes direcciones, lo que resulta en una variación de la estructura local del polímero.

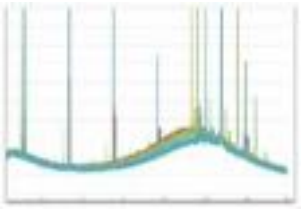
Para mejorar el proceso de fabricación, un equipo liderado por científicos **ICI (Imperial Chemical Industries)** ha llevado a cabo una serie de estudios sobre la dependencia de la orientación del polímero y la cristalinidad de las condiciones de fabricación. La micro-difracción, con un barrido de haz 2 micras a través de la pared de 1 mm de espesor botella de plástico, reveló una marcada variación de la estructura del material en la mayor parte de la pared (casi amorfa) en comparación con las que se encuentran en las capas superficiales que son más cristalinas. Esto puede ser racionalizado en términos de los perfiles de temperatura establecidos durante la extrusión, que permite a los parámetros del proceso para ser optimizados.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID13 - Microfocus Beamline.*
*Técnica: Micro XRD.*

### 5.5.5. Lubricantes y Aditivos

• **Control de cristalización en combustibles y biocombustibles.** [70] El uso de aditivos anticongelantes en combustibles diesel ha sido práctica común desde la aparición de estos combustibles. Sin embargo, en los últimos tiempos la demanda legislativa en ciertos países para utilizar biocombustibles en las mezclas diesel ha afectado la operabilidad de estas sustancias en bajas temperaturas.

La compañía **Infineum**, dedicada al desarrollo y manufactura de aditivos para combustibles, ha buscado constantemente la creación de aditivos que prevengan los procesos de nucleación y creación de cristales en combustibles convencionales y biocombustibles a bajas temperaturas, que son los que bloquean líneas y filtros en los sistemas automotrices.



Análisis llevados a cabo en las instalaciones del sincrotrón Diamond, utilizando la técnica de dispersión de rayos X en ángulo pequeño, ayudaron a entender el mecanismo de nucleación en combustibles. El proceso de cristalización fue analizado en cambio utilizando la técnica de difracción de rayos X en polvo, y gracias a la resolución temporal del haz de luz sincrotrón utilizado, todo el proceso de formación de cristales en el combustible pudo ser monitoreado. La estructura final de los cristales pudo ser determinada subsecuentemente con diferentes técnicas de sincrotrón adicionales.

*Sincrotrón: Diamond.*
*Líneas: I11 High Resolution Powder Diffraction*
*I19 Small Molecule Single Crystal Diffraction*
*I22 Small Angle Scattering & Diffraction.*
*Técnica: SAXS.*

• **Nuevos lubricantes más resistentes a la fricción.** Los lubricantes son componentes fundamentales en los sistemas mecánicos debido a la reducción de la fricción entre partes móviles. Las reacciones químicas y físicas que ocurren tienen el potencial de cambiar la naturaleza tanto de los componentes mecánicos como la de los lubricantes. Por ejemplo, las presiones pueden alcanzar niveles extremadamente altos, posiblemente de varios GPa, el efecto de presiones de este nivel podrían producir campos eléctricos muy intensos capaces de general plasma a nivel local. La caracterización química a nivel microscópico, como lo es la espectroscopía microscópica de fotoemisión, puede ayudar para entender fenómenos de esta naturaleza.

En Elettra, los investigadores estudiaron una variedad de diferentes muestras de aceros sujetos a fuerzas mecánicas, bajo la presencia de varias fórmulas de lubricantes. El uso del microscopio de fotoemisión permitió la caracterización morfológica y química de las áreas de las muestras expuestas a la fricción. En el caso específico de lubricantes que contenían sulfuro, fue posible confirmar una descomposición de éstos, así como la existencia de residuos en lugares específicos de las muestras. Los investigadores también encontraron cambios químicos en el acero y una reorganización espacial de los elementos de la aleación y de fases cristalográficas.

El desarrollo de técnicas de investigación que involucren la caracterización de materiales nanométricos da la oportunidad de encontrar nuevas aproximaciones a los problemas de fricción y explicar los procesos básicos involucrados. Esto permite realizar predicciones del comportamiento de sistemas mecánicos a nivel macroscópico.

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 2.2L - ESCA Microscopy.*
*Técnica: N/A.*

• **Análisis a nivel molecular del comportamiento del aditivo ZDDP para motores automotrices.** El aditivo lubricante ditiofosfato dialquil de zinc (ZDDP) ha sido utilizado por más de un siglo en la lubricación y prevención de desgaste de motores automotrices. Sin embargo, se ha observado que residuos de este compuesto llegan al sistema de escape del motor, afectando la eficiencia de limpieza de los convertidores catalíticos de los automóviles y por tanto impactando en el efecto de las emisiones en el medio ambiente.

Con el fin de crear compuestos alternativos al ZDDP, la compañía **Chevron** en colaboración con el sincrotrón CLS está llevando a cabo una investigación para conocer a detalle el mecanismo de lubricación que el ZDDP posee. Utilizando la técnica de Espectrocopía de Absorción de Rayos X de Estructura de Borde Cercano, los investigadores han podido identificar de manera precisa los diferentes compuestos y metales que se encuentran en la estructura de las delgadas capas de aditivo.

Se espera que el conocimiento adquirido de la estructura química y mecanismo de lubricación del ZDDP se pueda usar como base para el diseño de aditivos que no afecten el proceso de reducción de emisiones al medio ambiente.

*Sincrotrón: CLS.*
*Línea: 07B2-1 - Very sensitive Elemental and Structural Probe Employing Radiation from a Synchrotron (VESPERS).*
*Técnica: XANES.*

## 5.6. Salud y Cuidado Personal

Los sincrotrones han sido de suma importancia para la industria cosmética, farmacéutica y ciencias de la salud tanto en el aspecto de desarrollo como en el de manufactura y control de calidad. Los estrictos requerimientos para la producción de fármacos y cosméticos exigen que el control de calidad de sus formulaciones sea de muy alta precisión. La creación y síntesis de sustancias para tratar enfermedades requiere del análisis a nivel molecular de los diferentes componentes biológicos, en particular la caracterización e imagenología de las proteínas y moléculas, junto con el monitoreo de sus procesos de interacción y unión son de vital importancia para entender los efectos de los diferentes compuestos utilizados para sintetizar los productos farmacéuticos. A continuación se darán a conocer los casos de estudio encontrados para estas áreas de la industria.

### 5.6.1. Biomédica

**• Implante que provee una interfaz entre la salida de una cámara CCD y el cerebro humano.** La industria **MiniFAB** tiene un rol fundamental en el desarrollo de un implante que provee una interfaz eléctrica entre la salida de una cámara CCD y el cerebro humano. Una parte integral de esta iniciativa es el desarrollo de micro-electrodos capaces de implantarse a largo plazo en el cerebro, pero suficientemente finos para causar el mínimo daño en el tejido. El micro-haz de cristalografía del Sincrotrón Australiano ha permitido estudiar con detalle la estructura atómica de las puntas de estos electrodos, antes y después de las etapas de procesamiento. Esta información ha sido invaluable para predecir el rendimiento de diferentes aleaciones metálicas y acortar el ciclo de fabricación.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: PD - Powder Diffraction.*
*Técnica: Micro XRD.*

• **Determinación de la composición cuantitativa y cualitativa de las dos muestras de pasta utilizado en los rellenos dentales.** En Bessy II, la compañía **Cerkamed** utilizó la radiación sincrotrón para encontrar la relación entre el contenido de las resinas y composición y las características del producto como: la bio-compatibilidad, la fluidez, dureza, etc.

*Sincrotrón: BESSY II.*
*Línea: UE52 - PGM.*
*Técnicas: XAS, XPS.*

• **Estudio de las estructuras de implantes orales.** Las espigas o postes dentales que se utilizan en la reconstrucción de muelas dañadas gravemente deben de proporcionar una máxima estabilidad y adhesión a la raíz de la muela original. Las fallas se deben principalmente a infiltraciones externas que reducen la adherencia del poste a la raíz, o cuando se deja mal balanceado y las fuerzas se concentran en la extremidad de la muela causando una fractura de la raíz.

En Elettra, la microtomografía con luz sincrotrón ha demostrado ser la mejor técnica para obtener una reconstrucción tridimensional de las áreas óseas alrededor de los implantes. La posibilidad de ajustar la energía de los rayos X proporciona la opción de escoger el nivel de contraste para la imagen de alta resolución, la cual sea apropiada a la densidad y características del tejido bajo exanimación. Esta técnica de análisis, la cual está apoyada por el desarrollo de programas de simulación que predicen el comportamiento de una muela reconstruida, se puede aplicar también a la caracterización mecánica de tendones, ligamentos y disco vertebrales, permitiendo así la optimización en el diseño de sustitutos artificiales [71] , [72].

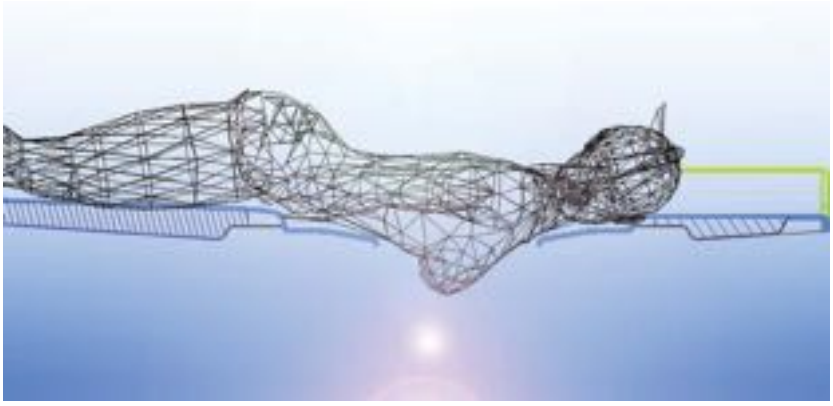
*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 6.1R - SYRMEP - SYnchrotron Radiation for MEdical Physics.*
*Técnica: Imagen de rayos X.*

**Estudios de tomografía médica en una línea de luz sincrotrón.** La radiografía convencional permite obtener imágenes de contraste utilizando un haz de rayos X en tejido biológico y medir variaciones en la densidad, composición o grosor mediante un detector adecuadamente posicionado. Sin embargo, algunas veces, las áreas de baja absorción del espécimen bajo estudio son difíciles de distinguir del área circundante, haciendo difícil el diagnóstico.

En Elettra, se desarrolló una técnica que permite la adquisición de imágenes utilizando la luz sincrotrón. El análisis de contraste de fase que esta técnica provee, permite obtener imágenes que representan información que provienen no sólo de las diferencias de absorción de luz, sino también de la interferencia entre rayos X que pasaron a través del espécimen. Esta doble característica es fundamental para revelar detalles de especímenes con poco un contraste bajo o con límites difíciles de distinguir.

La técnica se ha estado utilizando para diagnosticar tumores de pecho en estudios realizados conjuntamente con el INFN (Instituto Nacional de Física Nuclear de Italia), la Universidad de Trieste y la Autoridad de Salud de Trieste, y se siguen realizando pruebas clínicas. Los resultados obtenidos hasta ahora confirman su valor, ya que se requiere de una dosis mínima de radiación para diferenciar y caracterizar detalles en los tejidos, los cuales son difíciles de interpretar mediante los métodos tradicionales de mamografía [73].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 6.1R - SYRMEP - SYnchrotron Radiation for MEdical Physics.*
*Técnica: Imagen de rayos X.*



Estudio de una mesa anatómica para el examen de mamografía mediante luz sincrotrón en la línea de haz SYRMEP de Elettra.

• **Estudio a nivel nanométrico de la estructura precisa del material utilizado en la manufactura de un filtro para diálisis portátil.** [74] La compañía de tecnología médica **Triomed** está desarrollando un chaleco equipado con un dispositivo de diálisis ligero y portátil. Para su desarrollo comisionó a la empresa **CR Competence**, experta en la manufactura de superficies de materiales avanzados, para optimizar el proceso de producción de uno de los filtros del aparato de diálisis.

Para ello, la compañía CR requería de una imagen detallada de la estructura del material utilizado en la manufactura del filtro. Gracias a la técnica EXAFS disponible en el sincrotrón MAX II, este análisis fue posible, permitiendo a la compañía precisar qué era lo que debían ajustar en el proceso de producción para manufacturar un material perfectamente funcional.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I811 - Materials Science.*
*Técnica: EXAFS.*

• **Análisis de exhalación de aire para diagnóstico de enfermedades.** La compañía **Chromalytica** está desarrollando un instrumento médico capaz de diagnosticar el estado de salud de un paciente por medio del análisis preciso de los compuestos presentes en una sola exhalación de aire. Este dispositivo sustituiría los procedimientos de análisis existentes hoy en día basados en orina, sangre y otros más invasivos, los cuales requieren mayor tiempo, costo y sufrimiento para el paciente; y reduciría el tiempo de análisis a alrededor de 15 minutos.

El análisis de los compuestos marcadores en una exhalación de aire requiere de una precisión extrema. Ésta se logra gracias a la radiación ultravioleta de alta intensidad generada en el sincrotrón MAX II, cuya longitud de onda puede ser minuciosamente controlada, permitiendo así la caracterización y análisis de los diferentes compuestos presentes en la exhalación de aire del paciente, los cuales pueden ser identificados como marcadores para enfermedades particulares.

*Sincrotrón: MAX III.*
*Línea: I3.*
*Técnica: Espectroscopía con UV.*

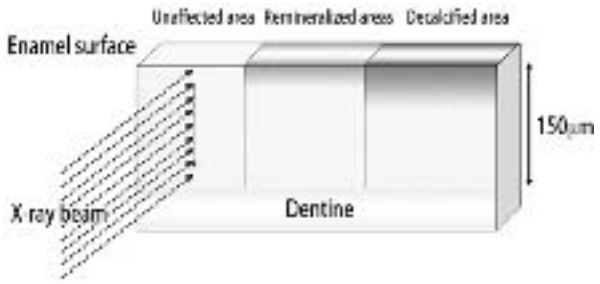
• **Análisis de proceso de remineralización dental para desarrollo de chicle preventivo.** [38] Con el objetivo de contribuir al mantenimiento y mejora de la higiene bucal, se han venido desarrollando alimentos para uso específico de la salud, por ejemplo, la compañía **Ezaki Glico Co.** ha desarrollado un chicle que ayuda en la prevención del decaimiento dental, basado en el uso de un compuesto llamado calcio fosforil-oligosacárido.

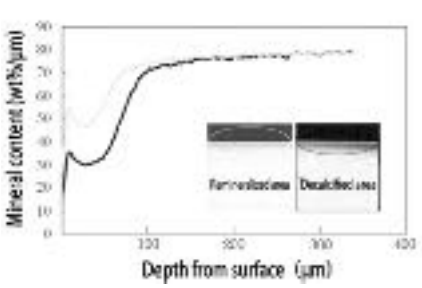
En el decaimiento dental, inicialmente la superficie de la pieza sufre una pérdida de minerales; en esta etapa, el diente puede restaurarse con un proceso de remineralización por medio de la saliva y otros factores. Este proceso de remineralización es el reforzado por el calcio fosforil-oligosacárido; para determinar con precisión cuál es el efecto de este componente en este proceso de remineralización, se utilizó la técnica de dispersión de rayos X de gran ángulo de la línea BL40XU del sincrotrón SPring-8 en Japón.

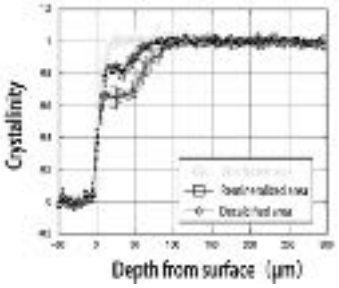
Estudios anteriores del proceso utilizando Micror Radiografía Transversal y microscopía electrónica sólo revelaban la presencia del mineral, sin embargo el análisis utilizando luz de sincrotrón permitió observar los cambios en la estructura cristalina, que es la que realmente mantiene la integridad de la superficie dental.

Estos estudios permitieron determinar que la descalcificación sucede también a un nivel cristalino y que la remineralización regenera no sólo el contenido de material sino su estructura.

*Sincrotrón: SPring-8.*
*Líneas: BL40XU.*
*Técnica: TMR.*



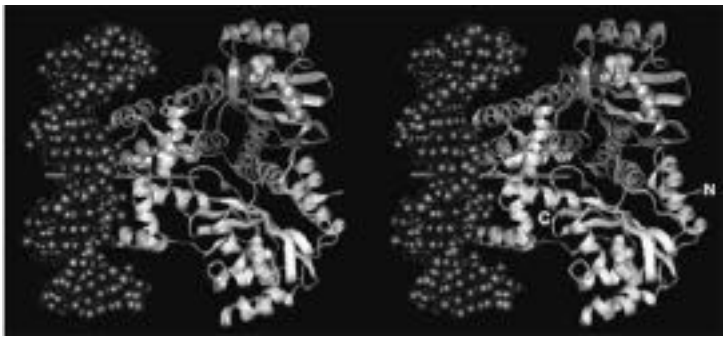
### 5.6.2. Biotecnología

• **Confirmación de método de comunicación utilizado por bacterias.** [75] La idea de que las bacterias pueden comunicarse a través de feromonas ha sido teorizada por algunos biólogos. De ser cierta, este conocimiento podría tomarse en cuenta en el combate de ciertas enfermedades como la fibrosis quística y la peste bubónica o para desarrollar nuevas tecnologías en el tratamiento de agua, ya sea impidiendo la proliferación y actividades de bacterias dañinas o fomentando y dirigiendo el comportamiento de bacterias útiles.

Esta teoría fue confirmada gracias al trabajo de investigación realizado por investigadores de la multinacional **Monsanto Corporation** y de la Universidad de Cornell, utilizando para ello las líneas del Centro de Biología Estructural del sincrotrón APS. En la investigación se determine que la proteína TraR era clave en este proceso de comunicación, fungiendo como relevador en la percepción de estas feromonas por parte de las bacterias y como activador genético. Utilizando el haz de alta brillantez del sincrotrón para cristalografía de rayos X se obtuvo un mapa tridimensional de la proteína átomo por átomo. Estas imagines permitieron observar el proceso de comunicación entre bacterias.

Entendiendo mejor este proceso por medio de esta investigación, permitirá poder diseñar y desarrollar tratamientos que interrumpan o fomenten el proceso de comunicación entre bacterias.

*Sincrotrón: APS.*
*Línea: 19-ID-D - Life Sciences.*
*Técnica: N/A.*

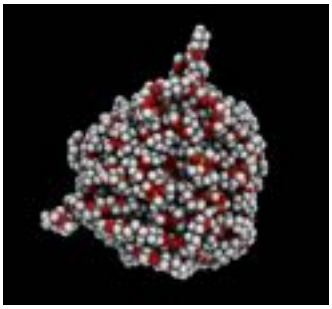


*Estructura de la proteína clave que permite el proceso de comunicación entre bacterias y así extender infecciones.*

**• Colaboración en el desarrollo de agente de contraste basado en nanopartículas para detección de tumores.** [76] La empresa **Spago Imaging** desarrolló un agente de contraste para detectar tumores en tejido blando. Este agente está basado en nanoparticulas compuestas por una matriz de polímero con iones de manganeso que refuerzan la señal magnética durante el proceso de imagen por resonancia magnética, incrementando el contraste entre tejido sano y tejido dañado.

Las mediciones hechas en el sincrotrón MAX II utilizando las técnicas de EXAFS y SAXS, permitieron verificar los cálculos teóricos acerca de la estructura atómica del agente contrastante, con lo que el desarrollo industrial de éste pudo llevarse a cabo. Dichas mediciones son imposibles de realizar en laboratorios convencionales de espectrometría de masas o microscopía electrónica.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I811 - Materials Science.*
*Técnica: EXAFS.*



Modelo de nanopartícula diseñada por Spago Imaging analizada en el sincrotrón MAX II.

### 5.6.3. Farmacéutica

**Estudiando la estructura de medicinas genéricas.** Cuando la patente de un fármaco muy popular expira, muchas compañías se dedican a crear un fármaco genérico, se necesita mucho trabajo científico detrás para encontrar una medicina genérica que sea igual de efectiva que la original.

El Sincrotrón Australiano trabaja muy de cerca con la compañía **Hospiria ANZ**. Hospiria es una compañía en Victoria, Australia que obtiene cerca de 280 millones de dólares por la exportación de sus productos. Hospiria se mantiene competitiva a nivel mundial gracias a la investigación que realiza en el sincrotrón Australiano.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: MX1 - Macromolecular Crystallography.*
*Técnica: MX.*

**• Estudio de la hormona GLP-1 involucrada en la producción de insulina como tratamiento para la diabetes.** [77] La multinacional farmacéutica danesa **Novo Nordisk** hace uso regular de la radiación del sincrotrón MAX II. Un ejemplo de ello es la investigación sobre la hormona GLP-1 involucrada en la producción de insulina en el cuerpo humano.

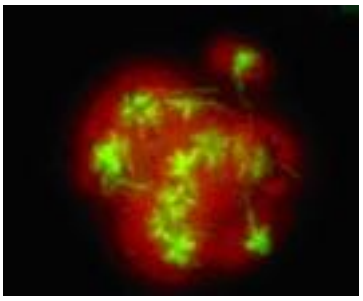
Utilizando las líneas del synchrotron MAX II dedicadas a la cristalografía molecular, investigadores de Novo Nordisk determinaron la estructura tridimensional de la molécula de GLP-1, para poder entender su funcionamiento dentro del cuerpo. Logrando con esto desarrollar el fármaco Victoza: un tratamiento contra la diabetes tipo 2 basado en la Liraglutida, molécula análoga a la GLP-1 pero adecuada para su síntesis como sustancia medicinal.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I911 - MX Molecular Crystallography.*
*Técnica: MX.*

Estructura de la GLP-1 (rollo negro) unida a su receptor GLP-1R

• **Estudio de la hormona GLP-1 involucrada en la producción de insulina como tratamiento para la diabetes.** La compañía **Basilea Pharmaceutica International Ltd.**, ubicada en la ciudad de Basilea en Suiza, se enfoca en el desarrollo de tratamientos para infecciones bacteriales, fúngicas y cáncer. Esta empresa utilizó análisis con luz de sincrotrón para obtener información estructural de los microtúbulos citoplásmicos de la célula para entender el mecanismo de acción del compuesto BAL27862 desarrollado para la producción de fármacos contra el cáncer.

*Sincrotrón: SLS.*



• **Mejoramiento de las vacunas contra la meningitis.** Se tiene que las vacunas contra la meningitis nos son eficaces contra las cepas de meningitis B, ya que éstas se dirigen a la superficie de carbohidratos de la bacteria de la meningitis la cual, en las cepas B, son idénticas a los enlaces de aminoácidos humanos. Por este motivo, el ESRF está trabajando junto con las empresas farmacéuticas **BioXtal** y **NovartisVaccines** en nuevas y eficientes vacunas. Estas empresas ya cuentan con sus equipos convencionales de difracción de rayos X, pero en este caso fue necesaria la potencia de la línea de luz sincrotrón para la recolección de datos.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID14-4 - BioSAXS (New BM29 BioSAXS).*
*Técnica: MX.*

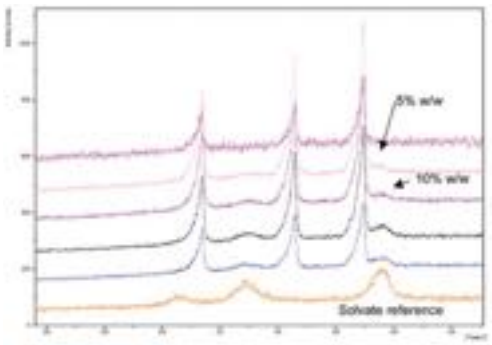
• **Reducción en el límite de detección de un solvato en un lote específico de fármaco.** [78] La empresa transnacional farmacéutica **GlaxoSmithKline** necesita mantener estándares de calidad en sus productos, por lo que mantener el nivel de impurezas bajo límites especificados es de principal importancia.

Para poder mantener la calidad en un cierto lote de fármacos, GSK requería determinar con alta precisión el límite de detección de un solvato en particular. En análisis realizados en difractómetros de laboratorio convencionales, el límite de detección de este compuesto en la mezcla era del 15%.

Al realizar análisis utilizando la técnica de difracción de rayos X en polvo con la luz del sincrotrón Diamond, la alta resolución espacial de esta técnica permitió una mejor detección de la presencia de impurezas, reduciendo el límite de detección hasta un 10% y con potencial de reducirlo a 5%.

Gracias a este desarrollo, se pudo determinar con certeza que los lotes promedio manufacturados contenían menos del 10% de solvato.

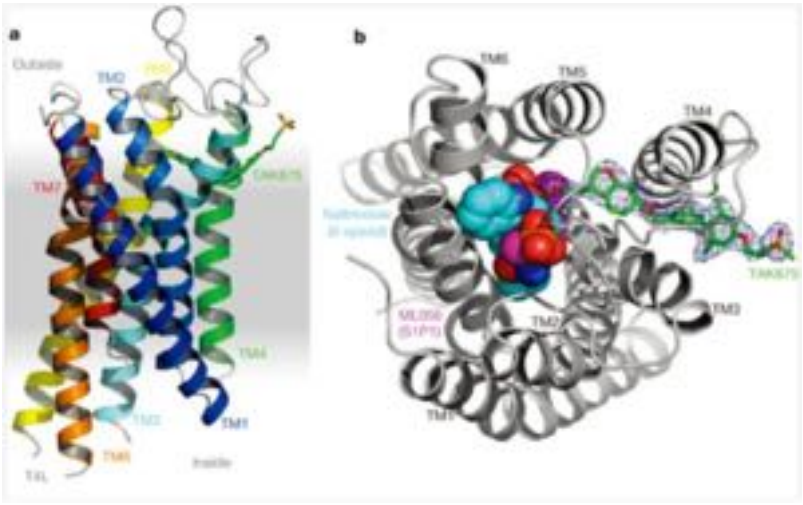
*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: I11 - High Resolution Powder Diffraction.*
*Técnica: XRD de polvo.*



• **Determinación de estructura tridimensional de proteína GPR40 para desarrollo de fármacos contra la diabetes.** [79] [80] Con miras a desarrollar un tratamiento para la diabetes melitus tipo 2, la empresa farmacéutica **Takeda Corporation** identificó la proteína receptora GPR40 presente en las células como una agente estimulante de la secreción de insulina y comenzó el desarrollo clínico de su agonista parcial TAK-875 como potencial tratamiento.

Como parte del desarrollo se requería comprender de manera precisa la interacción química entre ambas moléculas, para lo cual se necesitaba primero identificar y observar los pequeños cristales de GPR40 de un tamaño de 20 micras; una vez logrado esto con una detección de trama utilizando rayos X altamente colimados del sincrotrón ALS, se pudo obtener un análisis completo del complejo GPR40–TAK-875 y su interacción, observándose por primera vez una nueva ubicación de la unión de ligandos en receptores proteínicos.

*Sincrotrón: ALS.*
*Líneas: 5.0.2 - Multiple-wavelength anomalous diffraction (MAD) and macromolecular crystallography (MX)*
*5.0.3 - Macromolecular Crystallography (MX).*
*Técnica: XRD de polvo.*




Estructura del complejo del GPR40 con su agonista parcial TAK-875.

• **Determinación de la estructura cristalina de un tipo de diclofenaco, para una caracterización más exacta de éste.** [81] La cristalización del diclofenaco sódico en su forma anhídrica no ha podido ser completamente caracterizada, ya que los cristales que forma son pequeñas agujas de tamaño menor a 10 micras.

La empresa **SAFC Pharmorphix** utilizó la técnica de difracción de monocristal para moléculas pequeñas en el sincrotrón Diamond para poder realizar análisis a las muestras sometidas a una variedad de condiciones de temperatura y alta presión.La información obtenida, le permitió a la compañía farmacéutica conducir experimentos en ambientes de humedad controlada para comparar las estructuras de diferentes formas hídricas del diclofenaco sódico..

*Sincrotrón: Diamond.*
*Líneas: I19 Small Molecule Single Crystal Diffraction.*
*Técnica: Difracción de molécula pequeña en monocristal.*

• **Desarrollo de medicamentos para el tratamiento del infarto cerebral.** El medicamento más común en la terapia del ictus isquémico o infarto cerebral utiliza agentes trombolíticos que disuelven coágulos en vasos sanguíneos bloqueados. Este tratamiento, el cual causa una restauración inmediata del flujo sanguíneo normal, está diseñado para contener los daños irreparables en otras áreas del cerebro donde el tejido aún no ha sido afectado.

En Elettra, los investigadores utilizaron la difracción de rayos X para estudiar la estructura cristalográfica de una medicina innovadora (hecha por una importante compañía farmacéutica) que disuelve los coágulos de sangre. La medicina está bajo pruebas clínicas, mostrando resultados prometedores. Tiene bastantes ventajas sobre la correspondiente medicina trombolítica, que van desde su gran eficacia en un periodo extendido de tiempo, a un controla más fácil en la dosificación del paciente basándose en su peso [82].

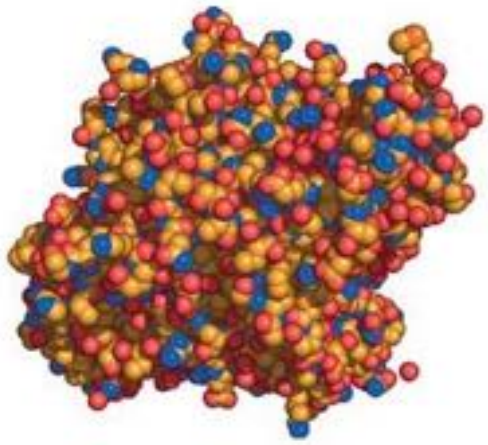
*Sincrotrón: Elettra.*
*Líneas: 5.2R - XRD1 X-Ray Diffraction 1.*
*Técnica: MX.*

• **Información detallada de las estructuras de moléculas anti-Alzheimer.** Uno de los enfoques más prometedores en el progreso de la farmacología en contra de las enfermedades neurodegenerativas, como la de Alzheimer, es el diseño de moléculas que puedan inhibir y controlar la actividad enzimática, actuando como una llave que encaje solamente en una cerradura. El primer paso en este desarrollo es en la revelación detallada de las estructuras tridimensionales de las moléculas involucradas en el proceso.

Mediante técnicas de difracción de rayos X en Elettra ha sido posible obtener información estructural detalla de la enzima La acetilcolinesterasa o Colinesterasa en glóbulos rojos (AChE), activo en la transmisión de señales nerviosas y apuntada como una de las causantes del Alzheimer, y su interacción con uno de los fármacos que pueden controlar la actividad de la enzima AChE.

El trabajo realizado en Elettra contribuye al proceso en el diseño de nuevos compuestos con excelentes propiedades terapéuticas, las cuales actualmente están bajo pruebas clínicas. El trabajo se realizó en asociación con una importante compañía farmacéutica Austriaca [83].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 5.2R - XRD1 X-Ray Diffraction 1.*
*Técnica: MX.*

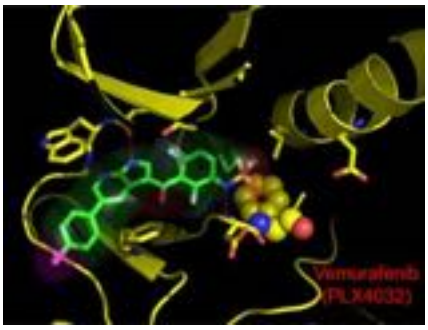


Enzima AChE.

**• Colaboración en el desarrollo del fármaco Zelboraf para tratamiento de cáncer.** [84] La compañía farmacéutica **Plexxikon** desarrolló el fármaco Zelboraf (PLX4032), el cual ha tenido un éxito histórico sin precedentes en el tratamiento de melanoma maligno. El grueso de los análisis de cristalografía de proteínas llevados a cabo para el desarrollo de éste fármaco fe realizado en la línea 8.3.1 del sincrotrón ALS, obteniendo en este centro también la mayor parte dela imagenología necesaria para el estudio.

Las técnicas de luz de sincrotrón han sido claves en el desarrollo de fármacos en general, en particular de tratamientos como éste en el que es necesaria la tecnología de punta para su desarrollo.

*Sincrotrón: ALS.*
*Línea: 8.3.1 - Multiple-wavelength anomalous diffraction (MAD) and macromolecular crystallography (MX).*
*Técnica: Imagen macromolecular.*



### 5.6.4. Cosméticos

**• Desarrollo de producto para el cabello, nuevos compuestos y tecnologías de producción.** [85] La compañía **Unilever**, en su desarrollo de nuevas tecnologías para la síntesis de productos para el cabello hizo uso de las técnicas de análisis disponibles en el sincrotrón para tener un mejor entendimiento del comportamiento y propiedades reológicas y de dispersión de la estructura del producto en forma diluida.

*Sincrotrón: Diamond.*
*Línea: I22 - Small Angle Scattering & Diffraction.*
*Técnica: N/A.*

• **Estudio del almidón de quínoa como emulsificante natural.** [86] Las cremas, lociones y productos de cuidado de la piel son en general emulsiones (mezclas de agua con aceites inmiscibles), que para su manufactura requieren de emulsificantes químicos. La empresa **Speximo** está desarrollando un emulsificante basado en el almidón de quínoa.

Utilizando la técnica de SAXS en la línea I911-4 del sincrotrón MAX II, se pudo estudiar con alto detalle la manera en que el almidón de quínoa encapsula las moléculas de aceite en el agua, permitiendo así una emulsión fina que no es pegajosa al tacto y se absorbe en la piel de mejor manera.

Estos estudios permitirán a Speximo diseñar emulsificantes específicos para la industria del cuidado personal, la industria farmacéutica y la industria alimentaria.

*Sincrotrón: MAX II.*
*Línea: I911 - Small Angle X-ray Scattering.*
*Técnica: SAXS.*

• **Investigación de cambios de fase en función de la temperatura del lápiz labial.** En PETRA III, la compañía cosmética **JSC Dzintars** realizó un estudio de difracción de rayos X de alta resolución (XRD) en seis muestras diferentes de lápices labiales. Los experimentos se realizaron a diferentes temperaturas en el intervalo de -50 ºC a 95 ºC, con la finalidad de estudiar los cambios estructurales que se podrían ocurrir. Al analizar los resultados, se determinó que los cambios estructurales debido a fluctuaciones pequeñas alrededor de la temperatura ambiente son reversibles; por lo tanto se puede suponer que el lápiz labial es bastante estable durante su transportación. Sin embargo, se determinó que a temperaturas entre 70 ºC y 95 ºC la base de parafina se rompe y los cambios estructurales son irreversibles, por lo que se debe de evitar exponer a esas temperaturas.

*Sincrotrón: PETRA III.*
*Línea: P02 - Hard X-ray Driffraction.*
*Técnica: XRD de alta resolución.*

• **La investigación de nanopartículas alivia las preocupaciones del uso de protectores solares.** La investigación de nanopartículas alivia las preocupaciones de protección solar. Hasta hace poco, existía la preocupación de cómo reacciona el sistema inmunológico a las nanopartículas de óxido de zinc, presente en varios productos, como el protector solar.

Las nanopartículas de óxido de zinc benefician el protector solar, ya que son parcialmente insolubles en agua e invisibles para el ojo, a diferencia de las partículas de zinc más grandes que dan el color blanco en la piel. Sin embargo, no se tiene bien entendido el comportamiento de las nanopartículas de óxido de zinc en los sistemas biológicos.

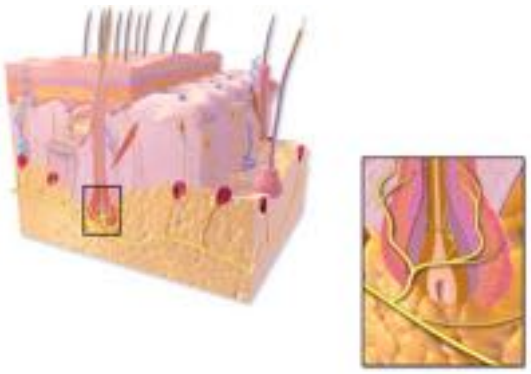
Los investigadores del Sincrotrón Australiano, del Centro de Nanofabricación de Melbourne (MCN), CSIRO, el Instituto Real de Tecnología de Melbourne (RMIT) y la Universidad de Monash encontraron que las células del sistema inmunológico (macrófagos) cumplen con su función; es decir, los macrófagos ingieren y rompen las nanopartículas de óxido de zinc antes de que lleguen al torrente sanguíneo.

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: XFM - X-ray fluorescence microscopy.*
*Técnica: XFM.*

• **Estudio del proceso de queratización en el folículo del pelo humano.** El pelo crecido en vitro es utilizado por **L'Oréal** como un modelo para el estudio de la influencia de los nutrientes cosméticos en la producción de fibra capilar y el proceso de queratización. En el campo de la cosmética, la microdifracción de rayos X podría ser útil para evaluar y comparar la eficacia de diferentes tratamientos cosméticos en particular en el campo del tratamiento del crecimiento del pelo y para el desarrollo de productos para la prevención de la pérdida de cabello.

La fibra de cabello humano está hecha de queratina, una proteína sintetizada y organizada progresivamente en filamentos por las células corticales de la zona queratógena del bulbo. Por ahora, las comparaciones entre estructuras observadas de cabello crecido *in vitro* e *in vivo*, ya sea en el bulbo o en la fibra, indican que no hay evidencia de cualquier diferencia estructural. Por otra parte, no se ha observado ninguna variación en la transición en la zona *in vivo / in vitro*. Las fibras *in vitro* e *in vivo* han exhibido la misma estructura, lo cual es alentador para el desarrollo de la técnica de crecimiento *in vitro*.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID13 Microfocus Beamline.*
*Técnica: SAXS.*



## 5.7. Patrimonio Cultural

La radiación sincrotrón ha demostrado ser un elemento de gran utilidad para el estudio de materiales. Su aplicación al estudio de materiales de interés artístico y arqueológico se inició hace unos veinte años. En los últimos años se ha observado un crecimiento espectacular de investigaciones aplicadas al estudio del patrimonio cultural. A continuación se mostraran algunos ejemplos de este tipo de aplicaciones.

• **Estudio de los métodos de fabricación de Cerámica y Joyería en el antiguo Egipto.** Un equipo está utilizando el AS para ayudar a revelar los métodos utilizados para hacer las cerámicas y joyería en el antiguo Egipto durante el reino del faraón Akhenaten.

Mark Eccleston, arqueólogo de la universidad La Trobe, está investigando el uso de metales, principalmente cobre y sus aleaciones como el bronce, en Egipto durante los 1500 a 1100 AC. Mark trabaja junto con Peter Kappen, con la asistencia de Dermot Henry (especialista en minerales del Museo Victoria), y con Kia Wallwork y otros científicos de línea del Sincrotrón Australiano.

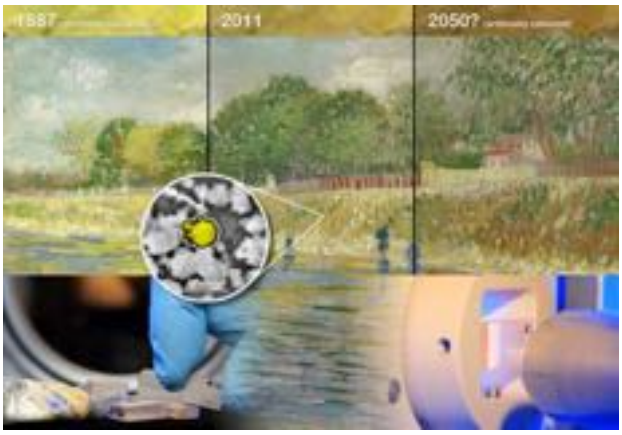
Mark y Peter utilizan técnicas como XAS (Espectroscopía de Absorción de Rayos X) y PD (Difracción de Polvo) en el AS; así como adicionalmente otros estudios de XAS en el HASYLAB (Laboratorio de Radiación de Sincrotrón en Hamburgo, Alemania).

*Sincrotrón: AS.*
*Línea: PD - Powder Diffraction.*
*Técnicas: PD; XAS.*

• **Identificación de una reacción química responsable de la degradación en pinturas de Vincent van Gogh.** Los científicos del ESRF junto con los de otras organizaciones como la del Museo de van Gogh o la Universidad de Antwerp, han identificado una compleja reacción química responsable de la degradación de dos pinturas de V. van Gogh y otros artistas de finales del siglo 19. Este descubrimiento es un primer paso hacia la comprensión de cómo detener que los colores amarillos brillantes de las pinturas más famosas de van Gogh se conviertan en objeto de un tono marrón, así como la decoloración con el tiempo. Mientras tanto, los resultados sugieren un blindaje de las pinturas afectadas tanto como sea posible de los rayos UV y la luz solar.

Los científicos emplean un haz de rayos X de dimensiones microscópicas para revelar una compleja reacción química que tiene lugar en la capa increíblemente delgado donde la pintura se encuentra con el barniz. La luz solar puede penetrar sólo unos pocos micrómetros en la pintura, pero sobre esta corta distancia, que dará lugar a una reacción química desconocida hasta ahora girando amarillo de cromo en los pigmentos marrones, alterando la composición original.

*Sincrotrón: ESRF.*
*Línea: ID21 - X-ray Microscopy Beamline.*
*Técnicas: XRF; XANES.*



• **Análisis metalúrgico de dos astrolabios.** [87] [88] Utilizando el haz de alta brillantez de rayos X enfocado y monocromático de la línea 1-BM del sincrotrón APS, investigadores pudieron realizar análisis metalúrgico en dos astrolabios para verificar su procedencia y antigüedad: el astrolabio M-33ª de la Colección Mensing en el planetario Adler y el astrolabio DW0595 de la Colección David P. Wheatland de la Universidad de Harvard.

Los datos recabados de este análisis confirmaron a partir de la composición y microestructra del astrolabio M-33ª, que la fabricación del astrolabio es de hoja de latón forjada y bajo contenido de zinc, que es consistente con su datación original de 1597, ya que éste es la tecnología que se tenía disponible hace 400 años. Mientras que los del astrolabio DW0595 revelaron que se trataba de una pieza mucho más reciente, ya que está hecho con hojas de cobre de grosor muy uniforme, lo que confirma que fue manufacturado con una tecnología mucho más reciente, los análisis con cristalografía indican que al parecer pertenecía a un grupo de reproducciones que fueron hechas al mismo tiempo, quizá como un atractivo elemento decorativo.

*Sincrotrón: APS.*
*Línea: 1-BM  Optics & Detector Testing Beamline.*
*Técnica: N/A.*

*Los dos astrolabios analizados: M-33a (izquierda) y DW0595 (derecha).*

• **Estudio del vidrio de ventanas medievales.** Los procesos y materiales utilizados para reparar estructuras, para la preservación del patrimonio cultural, deben de ser evaluadas cuidadosamente. Los fragmentos de vidrio encontrados en el subsuelo o que estuvieron expuestos a la atmósfera sufren de corrosión por la influencia ambiental (por la humedad, contaminación y microorganismos), la cual puede alterar tanto su composición química como su morfología.

La solución más común para mantener la integridad del espécimen es mediante la aplicación de un revestimiento superficial de polímero inerte, que en algunos casos, penetra y rellena grietas, poros y canales. Para garantizar la efectividad del tratamiento, el objeto debe de ser analizado y verificar que el revestimiento aplicado tiene una adherencia fuerte y homogénea.

En Elettra, se utilizó microtomografía de contraste de fase para obtener información acertada sobre cristalería medieval corroída. La coherencia especial de los rayos X utilizados en esta técnica permitió un examen efectivo y no invasivo de los preciosos fragmentos arqueológicos [89].

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: 6.1R - SYRMEP SYnchrotron Radiation for MEdical Physics.*
*Técnica: Imagen de rayos X.*

Corrosión atmosférica sobre un fragmento de vidrio proveniente de una ventana de una catedral gótica.

**• Identificación de las pinturas del siglo 15 DC por microespectroscopía FTIR de sincrotrón.** La técnica de FT-IR (del inglés *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) con radiación sincrotrón en la caracterización de materiales en pinturas antiguas es muy útil y tiene ventajas sobre las técnicas convencionales. La radiación de sincrotrón permite enfocarse en áreas de sólo unos pocos micrómetros, como consecuencia del alto brillo y alta colimación del haz, los espectros resultantes tienen una muy buena relación señal-ruido.

Utilizando la microespectroscopía FT-IR en ANKA aislaron e identificaron los diferentes compuestos de muestras muy pequeñas de pinturas antiguas. Las capas de pintura están formadas por una mezcla compleja y heterogénea de sustancias (pigmentos inorgánicos y orgánicos y aglutinantes, compuestos de reacción, compuestos de alteración) y se aplicaron formando capas submilimétricas (capas de pintura con espesores típicos de 20 a 100 micras). Los estudios permiten la identificación de los materiales utilizados en la pintura medieval. Por ejemplo, en la siguiente figura se muestra el espectro de IR lejano, se obtuvo con un haz de 50x50 $\mu m^2$. La medición corresponde a óxido de hierro $Pb_3O_4$ identificado en una muestra de un mural del siglo 15, en la iglesia de Santa Eularia (Unha) del Valle de Arán, en los pirineos de Cataluña, España.

*Sincrotrón: ANKA.*

• **Una marca invisible en las monedas antiguas**. La falsificación es uno de los problemas más persistentes en el campo de la preservación de patrimonio histórico y cultural. La amenaza no está solamente limitada a las obras famosas de arte. También se extiende a artefactos, como monedas antiguas, cuyo valor se basa en la época específica en que se hicieron y no en la complejidad de la fabricación. El riesgo de que las pinturas y monedas sean remplazadas por falsificaciones ha creado una situación paradójica, en la que los objetos más interesados deben de permanecer en sitios muy seguros, lejos de un lugar donde se puedan exhibir al público.

Elettra ha desarrollado una tecnología llamada “invisible” que permite el catalogar monedas antiguas por medio de una marca fluorescente estampada en una cinta de material especial que mide sólo algunas decenas de nanómetros de gruesa, y que es visible sólo bajo luz ultravioleta. La marca no tiene efecto sobre la superficie de la moneda y puede ser retirada si es necesario.

Se puede utilizar este método de marcaje para otras superficies no metálicas, una característica de interés para otros sectores en riesgo de falsificaciones (Patente n. PD 2007 A 000036).

*Sincrotrón: Elettra.*
*Línea: ESCA Microscopy.*
*Técnica: XPS.*

# 6. CONCLUSIONES

Durante la elaboración de este documento se ha podido constatar que existe una gran diversidad de industrias alrededor del mundo que hacen uso de la radiación de sincrotrón y que existe un inmenso potencial para desarrollar un número creciente aplicaciones futuras en diversas áreas del sector industrial y empresarial.

Este acercamiento entre el desarrollo científico que tiene lugar en las fuentes de luz de sincrotrón y el sector productivo se va incrementado conforme la industria va teniendo mayor conocimiento de cómo explotar las herramientas de análisis que ofrece una fuente de luz de este tipo y aprovechar al máximo las ventajas competitiva que esto implica; a la vez que los laboratorios de luz de sincrotrón reconocen en el sector industrial un gran campo potencial de aplicación y un agente impulsor de la investigación e innovación.

El involucramiento del sector industrial mexicano en el desarrollo de la primera fuente de luz de sincrotrón en México es de capital prioridad para este proyecto. Esto desembocará en un beneficio tanto para la academia como para el sector productivo, tal como se ha podido constatar en base a las experiencias de las fuentes de luz que operan actualmente.

Existe ya un esfuerzo bastante amplio y continuo en los diferentes sincrotrones del mundo para establecer una conexión directa entre la industria y la ciencia, condición que es de primordial importancia para el desarrollo de un país; de la misma manera, una Fuente de Luz Sincrotrón Mexicana será un instrumento fundamental para la vinculación de la ciencia y la tecnología con el sector productivo de nuestro país.

# 7. AGRADECIMIENTOS

Para la elaboración de este documento se contó con la colaboración de expertos y especialistas de diversos sincrotrones en el mundo.

Agradecemos por su apoyo a Vivian Stojanoff, Riccardo Bartolini, Robert Hettel, Edward Mitchell, Migue Ángel García Aranda, Alejandro Sánchez, Jefferey Cutler, Cristian Modolo, Marco Marazzi, Dennis Mills, Richard B. Fenner, Piero A. Pianetta y Cathy J. Knotts.

## A1. Centros de Investigación Privados en México

Se encontraron los siguientes centros de Investigación en México a los que les pudiera interesar experimentos en un sincrotrón:

- CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLOGICO SA DE CV
- LP BOND INVESTIGACIONES Y DESARROLLOS DEL TERCER MILENIO S A DE C V
- AVNTK SC
- TECNOLOGIA DE CALIDAD SA DE CV
- UNIDAD DE INVESTIGACION EN SALUD DE CHIHUAHUA SC
- RAPHSON & VON MISES CONSULTING SA DE CV
- SOCIEDAD MEXICANA DE CRIMINOLOGIA CAPITULO NUEVO LEON A C
- INNOVACION Y DESARROLLO DE ENERGIA ALFA SUSTENTABLE SA DE CV
- MAES MEXICO AC
- CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION INNOVACION DESARROLLO Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA ALFREDO CABANAS FIICSA SUBSEDE SURESTE AC
- COMITE DE DESARROLLO EMPRESARIAL AC
- CENTRO ONCOLOGICO DE ZACATECAS SC
- CDI CENTRO DENTAL INTELIGENTE SC
- DIGITAL PROJECT S DE RL DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLOGICAS Y DESARROLLO REGIONAL S DE RL MI
- CONSULTORA MEXICANA DE NEGOCIOS SC
- SISTEMAS INDUSTRIALES AUTOMATIZADOS SA DE CV
- COIMTEC SA DE CV
- INSTITUTO MEXICANO DE FLEBOLOGIA SC
- FERRAND PHARMA SA DE CV
- DISENO E IMPLEMENTACION DE SERVICIO COMPUTACIONAL SA DE CV
- DIDCOM SA DE CV
- UT SOUTHWESTERN MEDICAL CENTER
- IMITEK SC
- FUNDACION PARA EL DESARROLLO HUMANO Y METACOGNITIVO A C
- SOLUCIONES G4 SA DE CV
- NYSCO DE MEXICO SA DE CV
- INSTITUTO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA SA DE CV
- CLINICAL TRIALS MEXICO SA DE CV
- SCIENTIA INNOVA SRL DE CV
- BRASUCA SA DE CV
- IZZ SA DE CV
- CODE SERVICES COMPANY S A DE C V
- CORPORACION MEXICANA DE TRANSFERENCIA DE BIOTECNOLOGIA SA DE CV
- MACRO APLICACIONES PARA CONTROL SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION E INNOVACION EN QUIMICA AVANZADA SA DE CV
- FOCUSFRAME MEXICO S DE RL DE CV
- GW GLOBAL WASH SA DE CV
- FUTURNET SA DE CV
- W INTERACTIVE MEDIA SA DE CV
- TECNOLOGIAS HOMEOSTATICAS SAPI DE CV
- LABORATORIO DE NUTRICION VEGETAL S C
- PRUEBA SC
- PROCESOS Y ANALISIS ESTADISTICOS SC
- HONEYWELL INGENIERIA Y TECNOLOGIA AEROESPACIAL DE MEXICO S DE RL DE CV
- LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA APLICADA S DE RL DE CV
- CALIDAD E INNOVACION EN METAL SA DE CV

- HONEYWELL AEROSPACE ENGINE SIMULATION COMPANY S DE RL DE CV
- QUATTREZ SA DE CV
- CIDAT SA DE CV
- SCRIPT CONNECTOR SA DE CV
- DIAGNOSTICOS CLINICOS VETERINARIOS SA DE CV
- MEXICHEM SOLUCIONES INTEGRALES SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION EN PSICOTERAPIA PSICOANALITICA AC
- CENTRO DE INVESTIGACION APLICADA PARA EL AGUA Y ENERGIAS ALTERNAS SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION EN CONSTRUCCION ARQUITECTONICA Y DESARROLLO EN INNOVACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA CICADICYT AC
- CLINICA DENTAL METROPOLITANA SMILE CENTER SA DE CV
- ENZYFERM SA DE CV
- VIROLAB S DE RL DE CV
- PENTAIR WATER MEXICO S DE RL DE CV
- SOLUCIONES COMPUTACIONALES EMPRESARIALES SA DE CV
- WEISEPAHRM SA DE CV
- SERVICIOS PORTUARIOS SA DE CV
- EQUIPO AUTOMOTRIZ AMERICANA SA DE CV
- SHB TECNOLOGIA Y DESARROLLO SA DE CV
- CIDIA CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE INGENIERIA AVANZADA AC
- LACTA INGREDIENTES SA DE CV
- SALAMANDRA CONTENIDOS DIGITALES SA DE CV
- ITOPIA SC
- PEPTHERAPEUTICS SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION DE ESTERILIZACION Y ENVASE SA DE CV
- CENTRO DE IDT PARA EL SECTOR FARMACEUTICO Y COSMETICO S DE RL DE CV
- CIBFEX CENTRO DE INVESTIGACION BIOTECNOLOGICO DE FRUTAS EXOTICAS SPR DE RL
- RIVERA VALMANA LOPEZ BARRO CECCHINI SC
- GEOMETRIA EMPRESARIAL AC
- GARZA ANCIRA ESTUPINAN MENDE SC
- ACCESOS SIN LIMITE SA DE CV
- INMUEBLES Y SERVICIOS DEL CENTRO S A DE C V
- LABORATORIOS PARGGON SA DE CV
- AGAVES EL CERDEJO SPR DE R L
- CENTRO DE ACOPIO DE AGAVE MORELOS SPR DE RL
- MARCADORES GENOMICOS SA DE CV
- SERVICIOS MEDICOS PARACLINICOS DE MICHOACAN SA DE CV
- CENTRO DE ESTUDIOS DE LA FOTOSINTESIS HUMANA SC
- C3 INTERNACIONAL SC
- SIBEES SOFT SA DE CV
- SALSA PICANTE EL PULPITO S DE RLMI
- MADELS SPR DE RL
- AGENCIA DE INVESTIGACION EN COMUNICACION DE CAPACITACION Y DE ASESORIA SC
- RAWWATER ENGINEERING LIMITED LTD
- DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS ENERGETICAS SA DE CV
- CONSULTORA DE ASESORES FORESTALES SA DE CV
- ORBE SERVICIOS A LA INDUSTRIA SISTEMATIZADOS SA DE CV
- TECNOLOGIAS NATURALES INTERNACIONAL SA DE CV
- SMK ELECTRONICA SA DE CV
- EQUIPAMIENTOS ELECTRICOS SA

- BIO HORTA DEL NORTE SOCIEDAD DE RL MI
- BIO HORTI DEL NORTE S DE RL MI
- LABORATORIOS DEL NOROESTESA DE CV
- RG SOLUCIONES CIBERNETICAS SA DE CV
- ECOLE FRANCAISE D'ELECTRONIQUE ET D'INFORMATIQUE
- REVOLVENCIA EN ENERGETICOS SA DE CV
- VIA EDUCACION AC
- CENTRO DE DIAGNOSTICO GENETICO SC
- INGENIERIA INTEGRAL DE AGUASCALIENTES SA DE CV
- GALECTRA SA DE CV
- ELECTRINET SA DE CV
- SERVICIOS TECNOLOGICOS ESPECIALIZADOS DE LATINOAMERICA SA DE CV
- GRUPO NUTRIBLOCK S DE RL
- LABORATORIOS DE CIENCIA Y TECNOLOGIA S A DE C V
- [7]HOME TERMINAL SOLUTIONS DE MEXICO SA DE CV
- AGRICULTORES UNIDOS DEL RINCON SPR DE RL
- POLORMA AGRICOLA SC
- BIO HUMUS Y COMPOSTAS DE MEXICO
- TECHNOLOGICAL IMPROVEMENTS SA DE CV
- GLOBAL BIOTHERAPEUTICS SA DE CV
- INFRATECNO SA DE CV
- CAREPLUSS PHARMA SA DE CV
- AUTOTEK INDUSTRIAL DE MEXICO SA DE CV
- GEMA DEL CARIBE SA DE CV
- CENTRO DE ESTUDIOS APLICADOS PARA MATERIALES COMPUESTOS
- TECNOLOGIAS INNOVADORAS INTERNACIONALES SA DE CV
- INSTITUTO EPISTEMOLOGICO PARA ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS
- ALTIPLANO ENERGY SYSTEMS DIVISION SA DE CV
- GREEN BATTERY MEXICO SA DE CV
- CENTRO DE FORMACION INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LA OVINOCULTURA LECHERA SC
- UNIVERSIDAD DE KANAZAWA
- MEXAGON SA DE CV
- ARANEA SYSTEMS SA DE CV
- SISTEMAS DE GESTION ENERGETICA SA DE CV
- ALIANZA MEDICA ESTRATEGICA AC
- AHOMEX PROSESA SA DE CV
- INSTITUTO DE INVESTIGACION CLINICA DE OCCIDENTE SA DE CV
- CENTRO DE INNOVACION LLERANDI AC
- CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO COSTERO SC
- INSTITUTO PANVASCULAR DE OCCIDENTE SC
- TEQUILERA NEWTON E HIJOS SA DE CV
- DESTILERIA 5O1 SA DE CV
- LOWMAR SA DE CV
- LAMPORT GENETICA Y DESARROLLO SA DE CV
- METAS SA DE CV
- INVEMED INVESTIGACIONES MEXICANAS Y DESARROLLOS SC
- APTEG SC
- INGENIERIA DE MICROORGANISMOS Y PROCESOS SA DE CV
- CEDEIM CENTRO DE DESARROLLO EDUCACION E INVESTIGACION DE MEXICO SA DE CV
- MARLEX HEALTH CARE S DE RL DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION ABRIL AC

- GRUPO SINOTEK SA DE CV
- ENFOQUE QUIMICO SA DE CV
- GRUPO BEMIR SA DE CV
- DESARROLLOS TECNOLOGICOS SUSTENTABLES SC
- INSTITUTO BIOMEDICO DE INVESTIGACION
- SUPERLIFE SA DE CV
- INSTITUTO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION ANIMAL SA DE CV
- AGROPECUARIA LAS MERCEDES SA DE CV
- COMBUSTIBLES CONTROLADOS CIM SA DE CV
- VITRO FLEX SA DE CV
- MAQUINARIA AUTOMATICA Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL CORPORATIVA MATICORP S DE RL DE CV
- MARISCOS CONGELADOS LOS ARCOS SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACIONES GENETICAS DE MORELIA AC
- CENTRO EMPRENDEDOR DE NEGOCIOS S C
- MEGASALUD INTERNACIONAL SA DE CV
- IMAGEN POR RESONANCIA MAGNETICA SA DE CV
- ABDEO MEXICO SA DE CV
- REAL ESTATE ADVISERS DE MEXICO SA DE CV
- ARVIDANA SA DE CV
- DAY DREAM SA DE CV
- INVENSYS APPLIANCE CONTROLS
- RECICLADOS QUIMICOS DE SALAMANCA SA DE CV
- CENTRO DE DIAGNOSTICO EN METABOLISMO ENERGETICO Y MEDICINA MITOCONDRIAL SC
- CONTROLES LATINOAMERICANOS S DE RL DE CV
- GENETICA Y BIOLOGIA HUMANA SA DE CV
- VIDATERRA CORPORATIVO SA DE CV
- EL MESON PRINCIPAL DEL NORTE SA DE CV
- EXCELENCIA EN SERVICIOS PROFESIONALES SA DE CV
- TRIVASA SA DE CV
- SMARTECHNOLOGY SOFTWARE SA DE CV
- RAHVSLAFFITTEMUM SA DE CV
- CORPORACION ACAT SA DE CV
- KEET ELECTRONICS SA DE CV
- AVE RAVS SA DE CV
- RUBIORGANICOS SA DE CV
- LEDSS SA DE CV
- PRODUCTORES RUAYSIN SA DE CV
- COMERCIALIZADORA ROCAS SA DE CV
- CARDIOVASCULAR RESEARCH INSTITUTE SC
- CENTRO DE FORMACION INTEGRAL A TRAVES DEL DEPORTE SA DE CV
- DULE DISENO Y ARTE SA DE CV
- INVESTIGACIONES BIOLOGICAS Y AMBIENTALES DEL NORESTE SC
- CENTRO INTEGRAL AVANZADO EN DISENO
- A&C BIOTESLA SC
- INGENIERIA ESPECIALIZADA Y FABRICACION SA DE CV
- FORMACION Y DESARROLLO CONTINUO SC
- ICOA SC
- ITRACK SA DE CV
- ELECTROFORMADOS SA DE CV
- MANTIZ GAME STUDIOS S DE RL DE CV
- LABORATORIOS DIAGNOMOL SA DE CV

- SIC CELAYA SA DE CV
- GRUPO GOR SA DE CV
- INEMUR MEXICOS DE RL DE CV
- ARIA SPECIALTIES SA DE CV
- BREMER TEC SA DE CV
- COMPANIA INTERNACIONAL DE LUBRICANTES
- DOW QUIMICA MEXICANA SA DE CV
- APRADIE SC
- EXPORTADORA DE PARTES PARA BOMBAS SA DE CV
- DESARROLLADORA DE TECNOLOGIAS Y SOLUCIONES GTSA SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN MATERIALES Y ENERGIA SA DE CV
- SERVICIOS COMPUTACIONALES DE MONCLOVA SA DE CV
- INNOVARO GESTTEC SRL DE CV
- FOLDER X HOLDING SA DE CV
- CONTORNO CENTRO DE PROSPECTIVA Y DEBATE SA DE CV
- CENTRO EDUCATIVO NEUROCOM SC
- SOLUCIONES ECOLOGICAS DEL GUADIANA SA DE CV
- DOMODITY MEXICO SA DE CV
- SOLUTIONS IN COMBUSTION AND INDUSTRIAL CONTROL SA DE CV
- ESTIMULACION MAGNETICA TRANSCRANEAL DE MEXICO SC
- PROMOTORA INMOBILIARIA VILLA XXI SA DE CV
- NGWISE COMUNICACIONES SA DE CV
- PRUEBAS DE HERMETICIDAD Y MEDICION SA DE CV
- INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE SCHOOL IFP SCHOOL
- SYNERGY BIOTECH SA DE CV
- PORTAL VERDE DE MEXICO SA DE CV
- SERVICIOS AMBIENTALES INTERNACIONALES
- UNIDAD DE INVESTIGACION CLINICA CARDIOMETABOLICA DE OCCIDENTE SC
- SHK TECNOLOGIA MECANICA SAPI DE CV
- INSTITUTO DE HEMATOPATOLOGIA
- ECOLORO MONTERREY SA DE CV
- EDITORA E IMPRESORA DEL SURESTE SA DE CV
- ROY MOTORS COMPANY SA DE CV
- MAURICE PAINT SA DE CV
- INFORMATICA Y SOLUCIONES DEL CENTRO DE MEXICO SA DE CV
- SQUIB MEXICO SA DE CV
- WTSV TECHNOLOGIES S DE RL DE CV
- BIO HOMINIS SA DE CV
- MEDI CARE GROUP SA DE CV
- PHY SA DE TOTECHNIA SA DE CV
- GRUPO AGROPECUARIO Y ACUICOLA ASHANTI S DE PR DE RL
- PHYTOTECHNIA SA DE CV
- HESA TECNICA SA DE CV
- GENERADOR DE INNOVACION TECNOLOGICA PARA EL DESARROLLO SOCIOEMPRESARIAL SA DE CV
- CENTRO PARA EL DESARROLLO EXPORTADOR AC
- CRYODENT SA DE CV
- HEVAM FOODS S DE RL DE CV
- CENTRO DE DESARROLLO EMPRESARIAL Y ARTICULACION PRODUCTIVA AC
- SOLACE LABS
- COGHLAN SPRENGEL Y ASOCIADOS SA DE CV
- REINTECH RECYCLED INNOVATION AND TECHNOLOGY SA DE CV
- FIDEAC SC

- MEXICANA DE ARROZ SA DE CV
- GRUPO INDUSTRIAL DEPLAYUSA SA DE CV
- ASESORIA GLOBAL AMBIENTAL S DE RL DE CV
- CENTRO ARGENTINO DE ESTUDIOS INTERNACIONALES
- CONSORCIO NEMESIS
- GRUPO AMIVIDA SA DE CV
- EXPLOSIVOS ASTURION SA DE CV
- QUETZAL AEROESPACIAL S DE RL DE CV
- LABORATORIO CRILAB SC DE RL DE CV
- TIZACRIL SA DE CV
- ALTENERGIA SA DE CV
- INSUMOS AGROPECUARIOS DE MICHOACAN USPR DE RL
- PREFABRICADOS TECNICOS DE LA CONSTRUCCION SA DE CV
- GRUPO MABRO SA DE CV
- ANALYZE LABS SC
- ENTRADA DE GROUP DE MEXICO S DE RL DE CV
- KIN ENERGY INTERNACIONAL S DE RL
- LEANMATICS INSPECCION Y ANALISIS SA DE CV
- RECOMBINA SA DE CV
- NORTECHMEDICAL SA DE CV
- AUREACODE SA DE CV
- EMEV ARTE Y CIENCIA SOCIEDAD DE RESPONSABILIDAD LIMITADA DE CAPITAL VARIABLE
- ENERGIA IMPULSO TECNOLOGICO SA DE CV
- ALFA GRUPO TECNOLOGICO SA DE CV
- RADIO TRACKING DATA SA DE CV
- BARI POLIESTIRENOS SA DE CV
- MEXNEMA S A DE C V
- COMPANIA GANADERA LAS CABRAS S DE RL
- INDUSTRIAL CONSULTING GROUP SC
- ENEGIN SC
- UNIVERSIDAD LAUREADA DE MEXICO SC
- PROYECTOS CIVILES E INDUSTRIALES SIERRA NORTE SA DE CV
- CONDOMINIO KLH1 S DE R L DE CV
- MINERALES DE ANTEQUERA SA DE CV
- SOLUCIONES ESPECIALIZADAS EN SISTEMAS DE MEXICO SA DE CV
- MAQUINARIA LENERO SA DE CV
- CARBON CLICK SA DE CV
- CONDOMINIO KLH1 S DE RL DE CV
- LUB Y REC DE MEXICO SA DE CV
- CAUCHOS SBR DE CHIHUAHUA S DE R L MI
- ZYBORGONE
- REVLUX SA DE CV
- REDASA INDUSTRIA SA DE CV
- TEKNOPELLETS SA DE CV
- WITECH SA DE CV
- OPENSERVICE SA DE CV
- CRECIMIENTO ALIMENTARIO MODERNO SA DE CV
- GRUPO COMERCIAL LGM SA DE CV
- SERVICIOS AMBIENTALES Y DE ENERGIAS RENOVABLES DEL CENTRO SA DE CV
- CENTRO DE INVESTIGACION EN TECNOLOGIAS DE INFORMACION S DE RL DE CV

# Referencias


[1] M. e. E. R. T. M., "El Presupuesto Público Federal para la FUNCIÓN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2014-2015", Distrito Federal: Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis, Febrero 2015.

[2] D. Malmsström y J. Gurrel, «Synchrotron Radiation for Industrial Applications,» KIMAB AB, 2014.

[3] J.-Y. Buffiere, E. Marie, J. Adrien, J.-P. Masse y E. Boller, «In Situ Experiments with X ray Tomography an Attractive Tool for Experimental Mechanics,» *Exp. Mech,* vol. 50, p. 289, 2010.

[4] J.-Y. Buffiere, E. Ferrie, H. Proudhon y W. Ludwig, «Three-dimensional visualisation of fatigue cracks in metals using high resolution synchrotron X-ray microtomography,» *Mater. Sci. Technol,* vol. 22, p. 1019, 2006.

[5] E. Malbet-Monaco, G. Leonard, E. P. Mitchell y E. J. Gordon, «How the ESRF helps industry and how they help the ESRF,» *Acta Crystallogr. D. Biol. Crystallogr.,* vol. 69, p. 1289, 2013.

[6] «Report of the Working Group for the Strategic Mission of the ESRF,» 2012.

[7] J. Wang, K. Nasta y C.-C. Kao, «Industrial Research Enhancement Program a the National Synchrotron Light Source,» *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.,* vol. 649, p. 19, 2011.

[8] «Successful Results of Industrial Applications at SPring-8,» 2012.

[9] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico y Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología,» 2014.

[10] P. Willmott, An Introduction to Synchrotron Radiation: Techniques and Applications, United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd, 2011.

[11] G. Bukner, Introduction to XAFS: A Practical Guide to X-ray Absortion Fine Structure Spectroscopy, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, Delhi, Dubai, Tokyo: Cambridge University Press, 2010.

[12] M. Nomura, «Trace Element Analysis Using X-ray Absortion Edge Spectrometry,» *Anal. Chem.,* vol. 64, pp. 2711-2714, 1992.

[13] J. F. Moulder, F. W. Stickle, P. E. Sobol y K. D. Bomben, Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy: A Reference Book of Standard Spectra for Identification and Interpretation of XPS Data, USA: Pekin-Elmer Corporation, 1979.

[14] J. Vickerman y I. Gilmore, Surface Analysis (Principal Techniques), United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd, 2009.

[15] D. Attwood, Sof X-rays and Extreme Ultraviolet Radiation: Principles and Applications, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo: Cambridge University Press, 1999.

[16] E. Zschech, W. Yun y G. Schneider, «High-resolution X-ray imaging-a powerful nondestructive technique for applications in semiconductor industry,» *Appl. Phys A,* vol. 92, p. 423, 2008.

[17] P. Roy, M. Rouzières, Z. Qi y O. Chubar, «The AILES Infrared Beamline on the Third Generation Synchtron Radiation Facility SOLEIL,» *Infr. Phys. Technol.,* vol. 46, p. 139, 2006.

[18] O. Glatter y O. Kratky, Small Angle X-ray Scattering, London, New Yor, Paris, San Diego, San Francisco, Sao Paulo, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, 1982.

[19] B. Chu y B. S. Hsiao, «Small-Angle X-ray Scattering of Polymers,» *Chem. Rev.,* vol. 101, pp. 1727-1761, 2001.

[20] «ESRF News,» vol. Marzo, pp. 15-15, 2013.

[21] O. De Giacomo, A. Cesàro y L. Quaroni, «Synchrotron Based FTIR Spectromicroscopy of Biopolymer Blens Undergoing Phase Separation,» *Food Biophysics,* vol. 3, p. 77, 2008.

[22] S. Calligaris, L. Manzocco y M. C. Vicoli, «Modelling the temperture dependence of oxidation rate in water in-oil emulsions stored at sub-temperatures,» *Food Chemistry,* vol. 101, p. 1019, 2007.

[23] F. P. M., A. M. L. Baiano, G. Tromba, F. Zanini, D. Nobile y M. A., «Imaging techniques for the study of food microstructure: a review,» *Advances in Food and Nutrition Research,* vol. 51, p. 205, 2006.

[24] A. M. C. B. M. M. a. K. A. S. C.R. Brodersen, «The Dynamics of Embolism Repair in Xylem: In Vivo Visualizations Using High-Resolution Computed Tomography,» *Plant Physiology,* vol. 154, p. 1088–1095, 2010.

[25] K. H. Sizeland, M. M. Basil-Jones, R. Edmonds, S. M. Cooper, N. Kirby, A. Hawly y H. R. G., «Collagen Orientation and Leather Strength for Selected Mammals,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* vol. 61, p. 887, 2013.

[26] G. Silversmit et al, «Confocal u-XRF investigation of trace element distribution in Hungarian and Chinese rice,» *DESY Annual Report,* p. 1283, 2007.

[27] «Taking Microscopy to a Whole New Level,» Science Link.

[28] J. Kaiser et al, «Monitoring of the heavy-metal hyper accumulation in vegetal tissues by X-ray radiography and by femto-second laser induced breakdown spectroscopy,» *Microscopy Research and Technique,* vol. 70, p. 147, 2007.

[29] «Shining a light on new solar cell materials,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[30] P.-A. G. M. M. R. Z. B. M. J. G. Timothy S. Arthur, «Mg deposition observed by in situ electrochemical Mg K-edge X-ray absorption spectroscopy,» *Electrochemistry Communications,* vol. 24, p. 43–46, Octubre 2012.

[31] P. R. Shearing, N. P. Brandon, J. Gelb, R. Bradley, P. J. Withers, A. J. Marquis, S. Cooper y S. J. Harris, «Multi Length Scale Microstructural Investigations of a Commercially Available Li-Ion Battery Electrode,» *Journal of The Electrochemical Society,* vol. 159, nº 7, pp. A1023-A1027, 2012.

[32] D. S. Wragg, M. G. O'Brien, F. L. Bleken, M. Di Michiel, U. Olsbye y H. Fjellvag, «Watching the Methanol-to-ofelin Process with Time-and space-resolved high-energy operando X-ray Disffraction,» *Angewandte Chemie International Edition,* vol. 51, p. 7956, 2012.

[33] «Enhancing Oil Recovery,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[34] I. Gonzalez-Jimenez, T. D. K. Cats, M. Ruitenbeek, F. Meirer, Y. Liu, J. Nelson, J. Andrews, P. Pianetta, F. d. Groot y B. Weckhuysen, «Hard X-Ray Nanotomography of Catalytic Solids at Work,» *Angew. Chem. Int. Ed.,* vol. 51, 2012.

[35] «ALS Ceramics Materials Research Advances Engine Performance,» The Advanced Light Source Communications Group, Septiembre 2012.

[36] E. G. e. al., *Journal of the American Ceramic Society,* 2012.

[37] J. K. e. al., *Journal of Synchrotron Radiation,* vol. 6, pp. 683-686, 2009.

[38] «Successful Results of Industrial Applications at SPring-8,» RIKEN and Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Enero 2014.

[39] «Concrete Industry Benefits from Ancient Romans and the ALS,» The Advanced Light Source Communications Group, Octubre 2013.

[40] M. D. Jackson, S. R. Chae, S. R. Mulcahy, C. Meral, R. Taylor, P. Li, A.-H. Emwas, J. Moon, S. Yoon, G. Vola, H.-R. Wenk y P. J. Monteiro, «Unlocking the secrets of Al-tobermorite in Roman seawater concrete,» *American Mineralogist,* vol. 98, nº 10, p. 1669–1687, Octubre 2013.

[41] M. D. Jackson, J. Moon, E. Gotti, R. Taylor, S. R. Chae, M. Kunz, A.-H. Emwas, C. Meral, P. Guttmann, P. Levitz, H.-R. Wenk y P. J. M. Monteiro, «Material and Elastic Properties of Al-Tobermorite in

Ancient Roman Seawater Concrete,» *Journal of the American Ceramic Society,* vol. 96, nº 8, p. 2598–2606, Agosto 2013.

[42] M. K. e. al., *Journal of The Society of Materials Science,* vol. 54, nº 7, pp. 780-784, 2005.

[43] Y. N. e. al, *Nature,* vol. 418, pp. 164-167, 2002.

[44] H. e. al., *Angewandte Chemie International Edition,* vol. 45, nº 36, pp. 5998-6002, 2006.

[45] M. U. e. al., *Catalysis Communications,* vol. 9, pp. 311-314, 2008.

[46] Y. J. Wang, K.-S. Im, K. Fezzaa, W. K. Lee, J. Wang, P. Micheli y C. Laub, «Quantitative x-ray phase-contrast imaging of air-assisted water sprays with high Weber numbers,» *Appl. Phys. Lett.,* vol. 89, p. 151913, October 2006.

[47] L. Bregant, S. Favretto y C. Bertolini, «uCT Based Measurements of the Characteristics Lengths of Polyurethane Foams Employed in the Automotive Industry for Noise Contro Applications,» *Proceedings of the 5th World Congress on Idustrial Process Tomography,* Vols. %1 de %2Bergen, Norway, 2007.

[48] «Non-destructive strain measurement of a Trent 1000 fan blade,» Diamond Light Source Limited 2013, 2012.

[49] B. Harder, J. Almer, C. Weyant, K. Lee y a. K. Faber, «Residual Stress Analysis of Multilayer Environmental Barrier Coatings,» *J. Am. Ceram. Soc.,* vol. 92, nº 2, p. 452 , February 2009.

[50] «Sensitive Processes Behind Using GaAs in Pwer Electronics,» Science Link.

[51] R. Larciprete, L. Petaccia, S. Lizzit y A. Goldoni, «The Role of Metal Contact in the Sensitivity of Single Walled Carbon Nanotubes to NO2,» *Journal of Physical Chemistry,* vol. 111, p. 12169, 2007.

[52] D. Black, J. Woicik, M. Erdtmann y T. Langdo, «Imaging defects in strained-silicon thin films by glancing-incidence x-ray topography,» *Appl. Phys. Lett.,* vol. 88, p. 224102, 2006.

[53] D. F. Sunday, M. R. Hammond, C. Wang, W.-l. Wu, D. M. Delongchamp, M. Tjio, J. Y. Cheng, J. W. Pitera y R. J. Kline, *ACS Nano,* vol. 8, p. 8426, 2014.

[54] F. Kametani et al, «Bubble Formation within Filaments of Melt-processed Bi2212 Wires and its Strongly Negative Effect on the Critical Current Density,» *Supercond. Sci. Technol.,* vol. 24, p. 075009, 2011.

[55] L. Tesei, G. Tesei, L. Mancini, G. Tromba y F. Zanini, «Applications of Phase-sensitive X-Ray Imaging to the Structural Analysis of Composite Laminate High-performance Sail Fabrics,» *Advanced*

*Engineering Materials,* vol. 7, p. 11, 2005.

[56] «Moving Memristor and Neuristor Research Forward,» The Advanced Light Source Communications Group, Marzo 2013.

[57] «Control of the Metal-Insulator Transition in Vanadium Dioxide by Modifying Orbital Occupancy,» *Nature Physics.*

[58] B. Zhou, T. R. Bieler, G. Wu, S. Zaefferer, T.-K. Lee y a. K.-C. Liu, «In Situ Synchrotron Characterization of Melting, Dissolution, and Resolidification in Lead-Free Solders,» *J. Electron. Mater.,* vol. 41, nº 2, p. 262, 2012.

[59] T. R. Bieler, B. Zhou, L. Blair, A. Zamiri, P. Darbandi, F. Pourboghrat, T.-K. Lee y K.-C. Liu, «The Role of Elastic and Plastic Anisotropy of Sn in Recrystallization and Damage Evolution During Thermal Cycling in SAC305 Solder Joints,» *J. Electron. Mater.,* vol. 41, nº 2, p. 283, 2012.

[60] «Smart pigment dispersions for energy,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[61] «ALS Gives Chevron Scientists New Insights into Corrosion Resistance,» The Advanced Light Source Communications Group, July 2013.

[62] L. Gardossi, C. Ebert, V. Ferrario, P. Braluca, A. Basso y L. Vaccari, «Enzymes inmobilization. Industrial Biocatalysts Optimization,» *Chemistry & Industry,* p. 106, 2008.

[63] «Looking at Platinum Speciation in Three Way Catalysts,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[64] T. I. Hyde, P. W. Ash, D. A. Boyd, G. Randlshofer, K. Rothenbacher y G. Sankar, «X-Ray Absorption Spectroscopic Studies of Platinum Speciation in Fresh and Road Aged Light-Duty Diesel Vehicle Emission Control Catalysts,» *Platinum Metals Review,* vol. 55, nº 4, pp. 233-245, Octubre 2011.

[65] A. Baraldi, G. Comelli, S. Lizzit, M. Kiskinova y G. Paolucci, «Real-time X-ray photoelectron spectroscopy of surface reactions,» *Surface Science Reports,* vol. 49, p. 169, 2003.

[66] P.-M. e. al., *J. Phys. Chem. C,* vol. 114, nº 36, 2010.

[67] «Providing a solution for Tetra Pack Packaging Solutions AB,» Sciene Link.

[68] «TE Connectivity Finds Answers in Tomography,» The Advanced Light Soirce Communications Group, August 2013.

[69] «Functional hybrid materials: Making the most of waste products,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[70] «Controlling Crystallisation in Fuels and Biofuels,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[71] L. Tesei, F. Casseler, D. M. L. Dreossi, G. Tromba y F. Zanini, «Contrast-enhanced X-ray Microtomography of the Bone Structure Adjacent to Oral Implants,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* vol. A, p. 548, 2005.

[72] D. Pasqualini et al, «Computed Micro-Tomographic of Glide Path with Nickel-Titanium Rotary PathFile in Maxillary First Molars Curved Canals,» *Journal of Endodontics,* vol. 38, p. 389, 2012.

[73] A. Abrami et al, «Medical Applications of Synchrotron Radiation at the SYRMEP,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A,* vol. 548, p. 221, 2005.

[74] «Nanostructures in a life vest,» Science Link.

[75] R.-g. Zhang, K. M. Pappas, J. L. Brace, P. C. Miller, T. Oulmassov, J. M. Molyneaux, J. C. Anderson, J. K. Bashkin, S. C. Winans y A. Joachimiak, «Structure of a bacterial quorum-sensing transcription factor complexed with pheromone and DNA,» *Nature,* vol. 476, p. 240, Agosto 2011.

[76] «Better contrast agent provides safer diagnoses,» Science Link.

[77] «Important puzzle pieces for the development of pharmaceutical products,» Science Link.

[78] «Pushing the detection limits of drug chracterisation,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[79] «Takeda Advances Diabetes Drug Development at the ALS,» The Advanced Light Source Communications Group, MAyo 2015.

[80] S. A, Y. J, H. Y, K. G, G. F, S. G, L. W, I. A, A. K, N. J, J. A y O. K, «High-resolution structure of the human GPR40 receptor bound to allosteric agonist TAK-875,» *Nature,* vol. 513, p. 124–127, Septiembre 2014.

[81] «Polymorphism in painkillers: a crystallographer's headache,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[82] D. B. M. Lamba, R. Huber, S. R. R. K. U. Fischer y W. Bode, «The 2.3 Angstroms Crystal Structure of the Catalytic Domain of Recombinant Two-chain Human Tissue-type Plasminogen Activator,» *Journal of Molecular Biology,* vol. 258, p. 117, 1996.

[83] C. Bartolucci, E. Perola, C. Pilger, G. Fels y D. Lamba, «Implications for the Desing of New Anti-Alzheimer Drugs,» *Proteins: Structure, Function and Genetics,* vol. 42, p. 182, 2001.

[84] «Structural Biology Helps Drug Discovery,» The Advanced Light Source Communications Group, Julio 2012.

[85] «Diamond SAXS industrial beamtime aids Unilever hair care R&D project towards home use trial prototype,» Diamond Light Source Limited, 2012.

[86] «Skincare products without stickiness or allergies,» Science Link.

[87] C. Stephenson, G. Stephenson y D. Haeffner, «The Mystery of Ioannes Bos: The Metal Speaks; X-ray Studies of Astrolabes,» *Advanced Photon Source Research,* vol. 3, pp. 35-40, 2000.

[88] G. B. Stephenson, B. Stephenson y D. R. Haeffner, «Investigations of Astrolabe Metallurgy Using Synchrotron Radiation,» *MRS Bulletin,* vol. 26, pp. 19-23, 2001.

[89] S. R. H. Gerlag, E. Z. F. Lopéz, L. Mancini y L. Rigon, «Phase Contrast Microtomography for Archaeological Glasses,» *COST Action G8: Non-destructive Testing and Analisys of Museum Objects,* 2006.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINCROTRÓN MÉXICO

# PLAN ESTRATÉGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SINCROTRÓN EN MORELOS.

## ANEXOS:

**III Mexican Workshop on Accelerator Physics**
Huatulco, Oaxaca

**¿Hacia Dónde va la Ciencia?**
Evento del CCC, CDMX

**Grandes Proyectos Científicos Mexicanos: Sincrotrón**
Evento de El Colegio Nacional, CDMX

**5ª Reunión de Usuarios de Luz Sincrotrón**
Cuernavaca, Morelos

**Mexico Hacia el Salto Tecnológico y Científico**
Foro del Senado de la República, CDMX

**Uso Industrial de la Luz Sincrotrón**
Club de Banqueros, CDMX

# III Mexican Workshop on Accelerator Physics

## III Mexican Workshop on Accelerator Physics.

**Huatulco, Oax. México.**
**November 29, 2014.**

**Invited Speakers:**

Riccardo Bartolini, Diamond
Alain Flores, IFUNAM
Gastón García, ALBA
Robert Hettel, SLAC
Francis Pérez, ALBA

**Organizing Committee:**

Armando Antillón, UNAM ICF
José Jiménez, UNAM ICN
Erick Juárez, UNPA
Matías Moreno, UNAM IF
José Mustre, CINVESTAV Mérida
Mauro Napsuciale, UGTO León
Tomás Viveros, UAM Iztapalapa

**Additional Information and Registration:**

www.fisica.unam.mx/sincrotron/3wmap

**Joint Conference:**

IV Reunión de Usuarios Mexicanos de Radiación Sincrotrón.
www.unpa.edu.mx/mesyrum2014

UNPA
Cinvestav
MORELOS
PODER EJECUTIVO
CONACYT

# III Mexican Workshop on Accelerator Physics

**Saturday 29 November 2014 - Saturday 29 November 2014**

**Huatulco, Oax.**

# Programme

# Table of contents


Saturday 29 November 2014 ..... 1

Inauguration ..... 1

Project Status ..... 1

Design and Performance of Storage Ring Light Sources ..... 1

Overview and latest news from ALBA ..... 1

Panel: Use and Perspectives of Ultimate Synchrotron Light Sources. ..... 1

Accelerator Physics Challenges in Ultra-low Emittance Rings ..... 1

ALBA, Accelerators Technology and Operation ..... 1

Ideas for future synchrotron light source in Mexico ..... 1

Conclusions ..... 1

# Saturday 29 November 2014

## Inauguration: Brenda Valderrama - (09:00-09:30)

***Brenda Valderrama***

## Project Status: Matías Moreno - (09:30-10:00)

***Matías Moreno***

## Design and Performance of Storage Ring Light Sources - (10:15-11:15)

- **Presenters: Dr. HETTEL, Robert**

## Overview and latest news from ALBA - (11:15-12:15)

- **Presenters: Dr. GARCIA LOPEZ, Gaston**

## Panel: Use and Perspectives of Ultimate Synchrotron Light Sources.: R. Hettel, A. Lausi, D. Shapiro, V. Stojanoff, G. García. Moderator: J. Mustre (to be confirmed) - (12:30-13:30)

***R. Hettel, A. Lausi, D. Shapiro, V. Stojanoff, G. García.***

***Moderator: J. Mustre***

***(to be confirmed)***

## Accelerator Physics Challenges in Ultra-low Emittance Rings - (15:45-16:45)

- **Presenters: Prof. BARTOLINI, Riccardo**

## ALBA, Accelerators Technology and Operation - (16:45-17:45)

- **Presenters: Dr. PÉREZ, Francis**

## Ideas for future synchrotron light source in Mexico - (17:45-18:30)

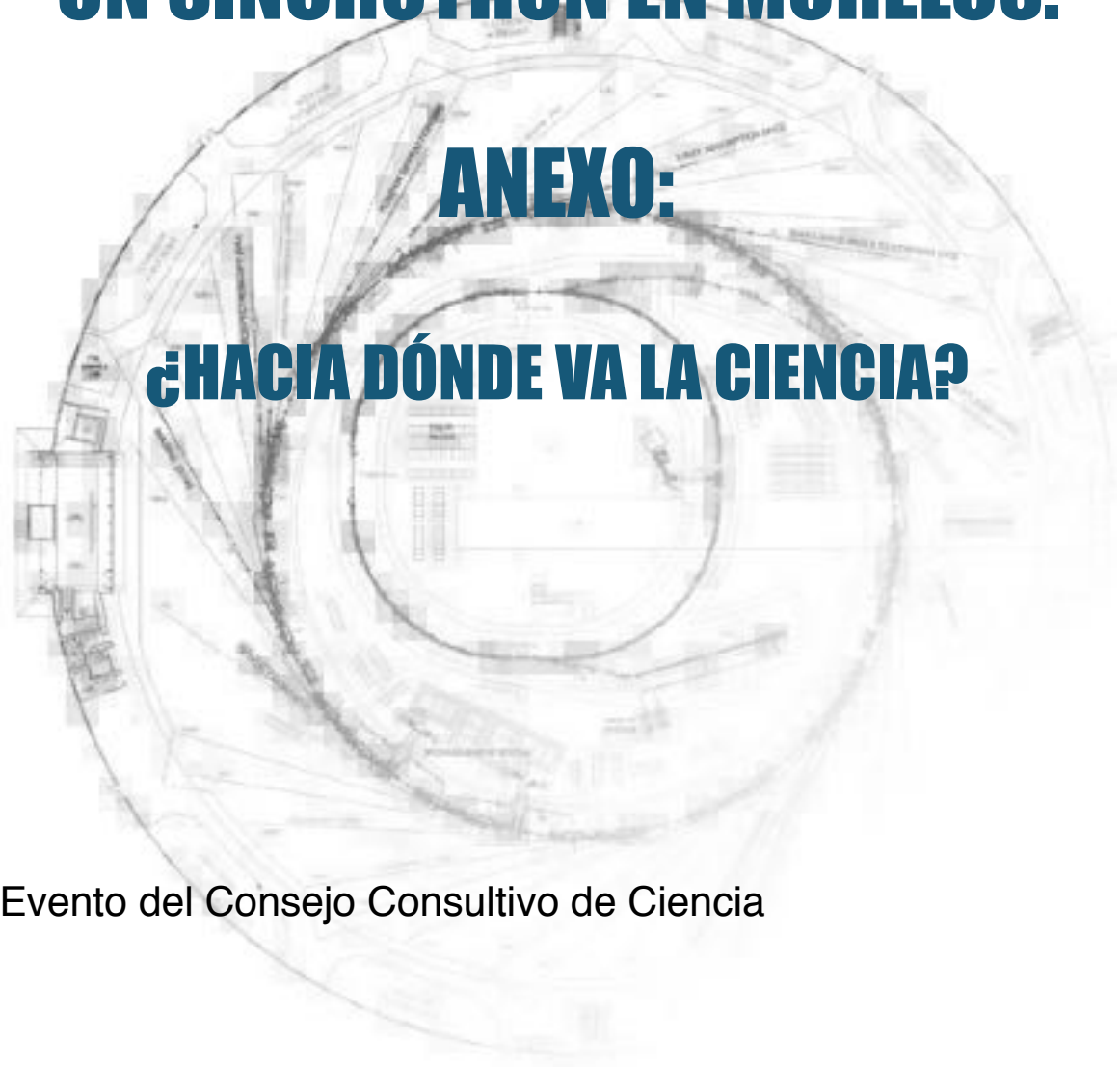
- **Presenters: Dr. FLORES TLALPA, Alain**

## Conclusions - (18:30-19:30)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINCROTRÓN MÉXICO

# PLAN ESTRATÉGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SINCROTRÓN EN MORELOS.



## ANEXO:

## ¿HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA?

Evento del Consejo Consultivo de Ciencia

# Conclusiones del Panel Fuente de Luz Sincrotrón

Asistentes:

**1. Capacidades y Beneficios.**

La creación, construcción y puesta en operación de un sincrotrón mexicano representa la realización del proyecto de mayor envergadura que se haya propuesto la ciencia mexicana. De tal modo que la necesidad de llevarla a cabo a buen término es fundamental.

El proyecto será realizado en un el curso de 7 a 10 años y al momento de su operación deberá asegurarse que el equipo sea moderno, capaz de estar en la punta de las instalaciones a nivel mundial y que su vida útil sea amplia.

De esta manera, se piensa en un equipo de 3ª generación, con la capacidad de operar múltiples líneas de luz de manera simultánea y ofrezca una brillantez alta, estructura temporal pulsada (picosegundos), un amplio espectro desde el infrarrojo hasta los Rayos X, operar con luz polarizada y coherencia.

A nivel mundial existe una gama amplia de equipos en operación con capacidades diversas. La tabla adjunta da cuenta de ello y permite aspirar a que México pueda contar con un sincrotrón moderno y robusto.

Los beneficios esperados de una herramienta de esta naturaleza son tanto en la parte científica, tecnológica como económica.

La generación de conocimiento, la formación de recursos humanos a nivel doctoral y postdoctoral, la difusión de los resultados y logros, la vinculación con la sociedad, el sector productivo, la creación de empresas de corte tecnológico son parte de los beneficios que se pueden esperar, tal como ha ocurrido con las experiencias de Brasil e Inglaterra entre otros.

**Países que cuentan con una Fuente de Luz Sincrotrón:**

| NAME | LOCATION | E(GeV) | C (m) | I(mA) | ε(nm rad) |
|---|---|---|---|---|---|
| Sources in operation | | | | | |
| DIAMOND | Chilton, UK | 3.0 | 560 | 300 | 2.7 |
| SOLEIL | Paris, FRANCE | 2.9 | 354 | 500 | 3.1 |
| ALBA | Barcelona, SPAIN | 3.0 | 269 | 250 | 4.6 |
| SSRF | Shanghai, CHINA | 3.5 | 396 | 300 | 4.8 |
| SLS | Villingen, SWITZERLAND | 2.4 | 240 | 400 | 5.0 |
| BESSY | Berlin, GERMANY | 1.9 | 240 | 270 | 5.2 |
| ALS | Berkeley, USA | 1.9 | 197 | 400 | 6.8 |
| ELETTRA | Triestre, ITALY | 2.4 | 260 | 320 | 7.0 |
| ASP | Melbourne, AUSTRALIA | 3.0 | 216 | 200 | 8.6 |
| MAX-II | Lund, SWEDEN | 1.5 | 90 | 200 | 9.0 |
| PLS | Pohang, KOREA | 2.5 | 281 | 180 | 12.0 |
| SPEAR-3 | Stanford, USA | 3.0 | 240 | 500 | 18.0 |
| CLS | Saskatoon, CANADA | 2.9 | 171 | 500 | 18.0 |
| TLS | Hsinchu, TAIWAN | 1.5 | 120 | 300 | 25.0 |
| INDUS-II | Indore, INDIA | 2.5 | 173 | 300 | 58.0 |
| ANKA | Karlsruhe, GERMANY | 2.5 | 240 | 110 | 70.0 |
| High Energy Sources in operation | | | | | |
| PETRA III | Hamburg, GERMANY | 6.0 | 2300 | 100 | 1.0 |
| SPRING-8 | Himeji, JAPAN | 8.0 | 1436 | 100 | 3.0 |
| APS | Chicago, USA | 7.0 | 1060 | 100 | 3.0 |
| ESRF | Grenoble, FRANCE | 6.0 | 844 | 200 | 3.8 |
| New sources in construction | | | | | |
| MAX-IV | Lund, SWEDEN | 3.0 | 528 | 500 | 0.3 |
| NSLS II | Brookhaven, USA | 3.0 | 620 | 500 | 1.5 |
| TPS | Hsinchu, TAIWAN | 3.0 | 518 | 400 | 1.7 |
| SOLARIS | Krakow, POLAND | 1.5 | 96 | 500 | 6.0 |
| SESAME | Amman, JORDAN | 2.5 | 133 | 400 | 27.0 |
| SIRIUS | Campinas, BRAZIL | 3.00 | 518 | 500 | 0.3 |

**Fuentes de luz en planes de crecimiento:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ESRF | Grenoble, Francia | 4.0 nm @ 6 GeV | --> 160 pm |
| Spring-8 | Himeji, Japón | 3.4 nm @ 8 GeV | --> 68 pm |
| APS | Chicago, USA | 3.1 nm @ 7 GeV | --> 60 pm |
| ALS | Berkeley, USA | 2.0 nm @ 1.9 GeV | --> 52 pm |
| SLS | Villingen, Switzerland | 5.0 nm @ 2.4 GeV | --> 100 pm |
| PEP-X USR | Stanford, USA | | --> 29.0 pm @4.5 GeV |
| Tevatron-USR | Batavia, USA | | --> 3.0 pm @ 9 GeV |

## 2. Sincrotrón de Daresbury, un ejemplo post-mortem

El laboratorio de sincrotrón de Daresbury (SRS), localizado en Cheshire Inglaterra, fue la primera fuente de radiación sincrotrón de segunda generación construida a ese país. El SRS llegó a contar con 38 líneas experimentales a un costo de operación aproximado de 20 millones de libras al año. El SRS fue cerrado en agosto de 2008 después de 28 años de operación (1981-2008). Al cierre del SRS se creó el Campus Daresbury de ciencia e innovación tecnológica en la cual coexisten más de 120 empresas con ventas anuales superiores a los 15 M £.

Posteriormente, una comisión especializada realizo un análisis de los beneficios y logros de 28 años de operación del SRS en términos de la derrama científica, derrama tecnológica, derrama económica, impacto social etc. (http://www.stfc.ac.uk/resources/pdf/srsimpact.pdf).
En lo que respecta a la derrama científica se puede resaltar: más de 2 millones de horas de ciencia, 4 mil tesis doctorales, 2 mil proyectos postdoctorales, colaboraciones con 25 países, 5 mil artículos científicos, mil 200 estructuras de proteínas resueltas y formación de especialistas. El núcleo básico que formó a los especialistas estuvo conformado por un staff de 325 científicos. De ellos, cien transfirieron sus conocimientos a la academia, a la industria y a otros sincrotrones.
En lo que respecta a la derrama tecnológica: el SRS tuvo una cartera de 200 clientes institucionales, entre ellos el 48% de las empresas líderes R & D en el mundo. Se generaron 9 compañías que en la actualidad son proveedores de los nuevos sincrotrones en el mundo.

En lo que respecta a la derrama económica: el SRS requirió de una inversión inicial de de 600 M £. Al cierre del SRS se generó una derrama de 1000 M £, con una cadena de 300 proveedores locales. Gracias al desarrollo tecnológico local se redujo el costo de sincrotrón de Diamond (DLS) a solo 400 M £. Las empresas generadas con el sincrotrón de Daresbury son los contratistas para el DLS.

Como un ejemplo de beneficio de un sincrotrón a la economía y a la sociedad se puede mencionar el caso de una contingencia nacional del Reino Unido la crisis de la fiebre aftosa del 2001; la cual le costó al Gobierno 8 mil 400 millones £. La obtención de la estructura cristalográfica del virus resuelta en el SRS permitió el desarrollo de una vacuna y, por tanto, la contención de crisis futuras.

3. Fuentes de luz basadas en tecnología de pulsos ultracortos y ultraintensos.

La tecnología de láseres de pulsos cortos e intensos desarrollada en la década de los años 80´s del siglo pasado combinada con el fenómeno de generación de armónicos ópticos de orden superior ha permitido desarrollar fuentes de luz extremadamante compactas en la región de longitudes de onda desde 180 a 3 nm. En ciertos aspectos, esatos sistemas compiten con las fuentes basadas en sincrotrones: 1) la brllantez de estas fuentes rivaliza a la de un sincrotrón a las longitudes de onda ya mencioandas de 180 a 3 nm. 2) las propiedades de coherencia son heredadas del pulso del láser original y 3) el costo puede ser de 2 órdenes de magnitud menor al de un sincrotrón. Sin embargo estas fuentes no pueden competir con el sincrotrón particularmente en dos aspectos: 1) los fenómenos ópticos no lineales de conversión de luz infraroja no son útiles para la producción de rayos X y 2) las fuentes de luz basadas en láseres pueden atender a muy pocos usuarios a la vez, típicamante 1 a 3, según sea diseñada la fuente.

Por otra lado, sería altamente deseable un programa conjunto de desarrollo de sincrotrón y de fuentes de luz basadas en laseres por varios aspectos que podemos agrupar en: (a) aspectos técncios y (b) formación de recursos humanos. En cuanto a los aspectos técnicos mencionaremos: 1) la posibilidad de realizar experimentos bombeo-prueba: láser-luz sincrotrón 2) la posibilidad de obtener pulsos, en la región de VUV, con duración de attosegundos, 3) desarrollo de tecnología, usando el fenómeno de aceleración de estela (*wakefield acceleration)*, para la construcción de pequeños aceleradores usados para la alimentación de un sincrotron. Desde el punto de vista de recursos humanos 1) la formación de personal altamente capacitado en tecnologia de ultralato vacio, óptica de VUV y de rayos X, así como 2) la formación de especialistas  para la operación de estaciones de trabajo en un sincrotrón.

De los quince países con mayor producto interno bruto en el mundo, México es el único que no posee una fuente de Luz Sincrotrón. A pesar de ello, existe una comunidad de usuarios muy activa y en constante expansión que hace uso de esta herramienta de frontera en otros países. Una razón que ha impedido la instalación de una fuente de luz en México es su alto costo de inversión que hace que este proyecto no pueda ser financiado a nivel institucional o estatal y por lo tanto debe ser una iniciativa nacional. Por tanto,

surge la imperiosa necesidad de unir esfuerzos para apoyar y promover el proyecto de creación de un sincrotrón mexicano.

**4. ¿Estamos Preparados?**

En diversos foros que el grupo ha organizado se ha manifestado que la situación académica y económica de México es mejor a la que tenían otros países que han iniciado un proyecto similar.

- Nuestro punto de partida es mejor que el de Brasil (1988), España (1994), Jordania (~2010) y muchos otros países

- Se cuenta con más de una centena de científicos preparados en aceleradores y con experiencia en el uso en múltiples laboratorios

- Hay un compromiso explícito de apoyo del estado de MORELOS (Nov. 2013).

- Magníficas relaciones con España (ALBA), USA (BNL, ALS), ESRF (Grenoble), Brasil, Australia….Reino Unido, quienes han manifestado su disposición a apoyar nuestra iniciativa. Se cuenta con soporte internacional en diseño y supervisión por parte de comités internacionales que certifiquen la calidad y avance del desarrollo del proyecto.

**5. Sincrotrón: ¿Qué pasa en México?**

**Cronología**

2006-2007 Se presenta propuesta de Megaproyecto ante Conacyt: XXXXX en la 1st MWAP (Primer taller mexicano de física aplicada)

2010-2011 como parte del Proyecto apoyado por la Dirección General de Desarrollo Científico, Redes, se llevó a cabo la Primera Reunión de Usuarios Mexicanos de Luz Sincrotrón y la Primera Escuela Mexicana de Aceleradores de Partículas.

2011 creación de la Asociación Mexicana de Usuarios de Luz Sincrotrón

2014-2015 Apoyo Fomix Morelos para la elaboración del "Proyecto Estratégico y Plan de Negocios"

2014 Red Temática Usuario de Luz Sincrotrón, aprobada formalmente en el 2015

**20?? Aprobación de la Construcción**

## Áreas de desarrollo científico que se beneficiarían con la disponibilidad de un sincrotrón mexicano (se muestran solamente algunas de ellas)

El sincrotrón es una herramienta poderosa para la investigación, el desarrollo e innovación científica, la tecnología y la industria debido a que proporciona información que no es accesible con otras herramientas. La luz del sincrotrón es útil no sólo en investigaciones básicas sino también en investigaciones aplicadas dentro de una gran variedad de campos del conocimiento que van desde la física, química o biología hasta la arqueología, arte o historia; esto convierte a las instalaciones de sincrotrón en herramientas de frontera a nivel mundial.

La Figura 1 muestra un esquema de las aplicaciones diversas de la radiación sincrotrón. En esta figura se aprecia la interacción en ambas direcciones en donde la herramienta de sincrotrón apoya las diferentes áreas y al mismo tiempo, la propia investigación provee de nuevas ideas para el desarrollo de nuevas técnicas de análisis.

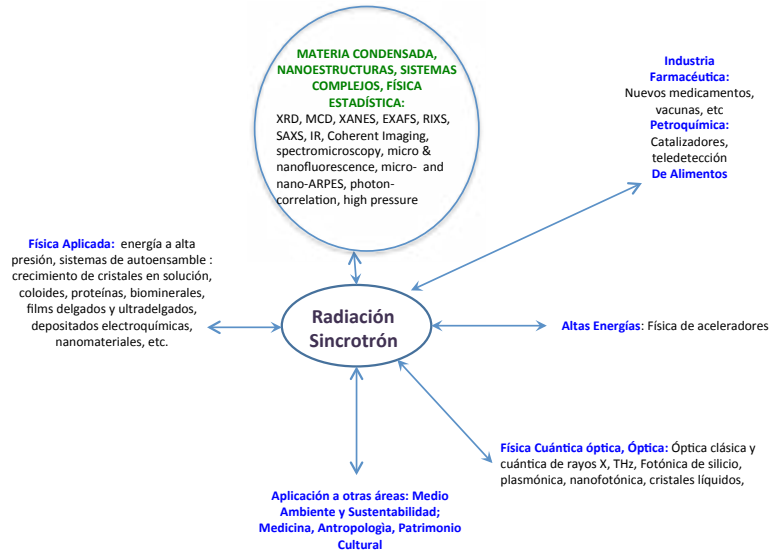



Figura 1. Áreas de aplicación de la radiación sincrotrón (seleccionadas)

## Red Temática de Usuarios Mexicanos de Luz Sincrotrón y Asociación de Usuarios Mexicanos de Luz Sincrotrón

La comunidad de Usuarios Mexicanos de Luz Sincrotrón registra actualmente un total de 120 personas entre investigadores y estudiantes y el objetivo común de estas organizaciones es el de extender y difundir el uso de técnicas basadas en radiación sincrotrón para que la comunidad de usuarios en México crezca, y con ello se incremente la generación de productos de investigación y de desarrollo tecnológico que nos permita ser más competitivos a nivel mundial. Así mismo, busca apoyar y promover el proyecto de creación de un sincrotrón mexicano, fortalecer programas educativos que propicien el fortalecimiento de recursos humanos especializados en el área, promover el intercambio de conocimientos entre los usuarios, así como generar una fuerte vinculación con la industria.

Los usuarios se distribuyen en un 52%, 37%, y 11% en la región centro, sur y norte de México, respectivamente. En un análisis por estado, resulta que el primero,

segundo y tercer lugar por número de usuarios pertenecen al DF,  Morelos y Guanajuato, respectivamente (Figura 2)

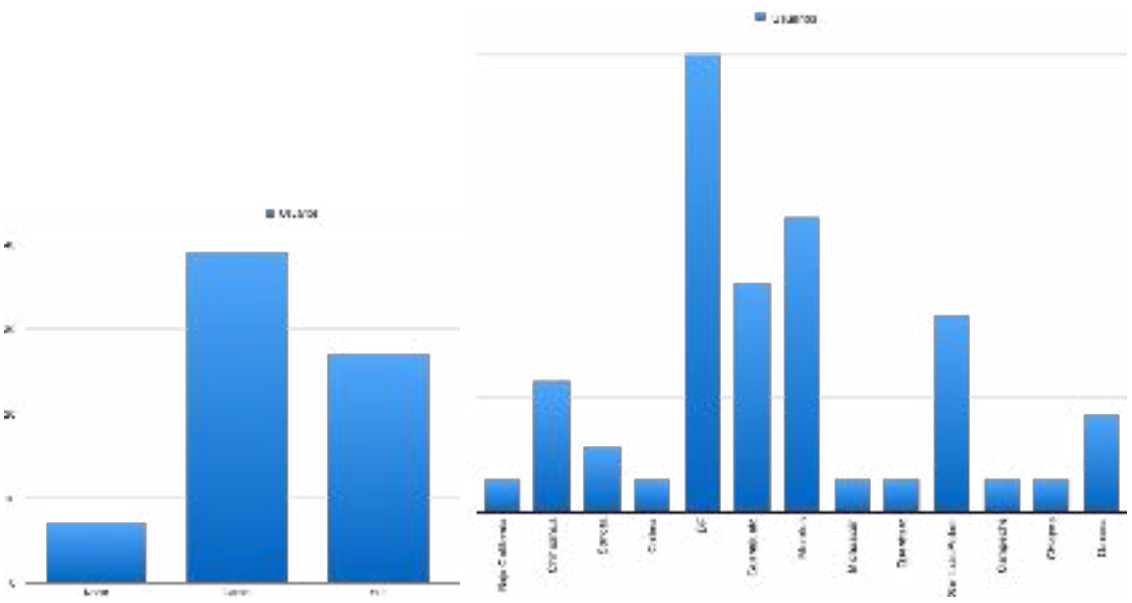


Figura 2. Distribución de usuarios de luz sincrotrón en México

## 7. Retos y costos

Uno de los principales problemas para llevar a cabo este proyecto es la inexperiencia de nuestro sistema de organización científica tecnológica. En el país no hay experiencia para procesar un proyecto de la magnitud requerida para construir y operar una Fuente de Luz Sincrotrón. En efecto, el costo estimado a partir de la construcción de sincrotrones en los últimos años es que esta instalación tendría un costo de US$500 millones.  El tiempo para construirlo, una vez otorgados los fondos, no sería menor a ocho años, lo que implicaría una inversión promedio anual de US$62 millones anuales. Una vez que el sincrotrón pase a la etapa de operación el costo anual se reduciría a la mitad.

Es de destacar que en las fuentes de luz brasileña y española se han debido crear modelos de gestión del proyecto innovadores. Quizás el modelo preexistente en México que guarda mayores semejanzas con el de estos dos países sea el de una asociación público privada (APP).

AÑO INTERNACIONAL DE LA LUZ 2015

**Octavio Novaro**
*Miembro de* El Colegio Nacional

## GRANDES PROYECTOS CIENTÍFICOS

# SINCROTRÓN

23 de junio de 2015, 8-14 hrs. • 24 de junio de 2015, 9-19 hrs.
Donceles 104, Centro Histórico, México, D. F.

## PARTICIPANTES INTERNACIONALES

**Brian Kobilka**
Premio Nobel de Química 2012
Universidad de Stanford, EUA

**Caterina Biscari**
Directora General de ALBA, España

**Roger Falcone**
Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, EUA

**Edward Mitchell**
European Synchrotron Radiation Facility, Francia

**Miguel Ángel García**
Director Científico de ALBA, España

**Herman Winick**
Emérito de SLAC y de la Universidad de Stanford, EUA

## COMITÉ ORGANIZADOR

Jorge Flores (CCC) · Matías Moreno (IF-UNAM) · Armando Antillón (ICF-UNAM) · Tomás Viveros (UAM-I)

MORELOS · CONACYT

@ColegioNal_mx
ColegioNacional.mx

transmisión en vivo
colnal.mx

www.fisica.unam.mx/sincrotron/ColNal

2015

# EL COLEGIO NACIONAL

LIBERTAD POR EL SABER

ENTRADA LIBRE Y GRATUITA

AÑO INTERNACIONAL DE LA LUZ 2015

**Octavio Novaro Peñalosa**
*miembro de* El Colegio Nacional

## GRANDES PROYECTOS CIENTÍFICOS

### MARTES 23 JUNIO

| | |
|---|---|
| 8:30 - 9:00 | **Registro** |
| 9:00 - 10:00 | **Inauguración**<br>Octavio Novaro Peñalosa<br>Jorge Flóres |
| 10:00 - 11:15 | **Mesa redonda**<br>*Academia y los grandes proyectos* |
| 11:15 - 11:30 | *Café* |
| 11:30 - 12:20 | Edward Mitchell |
| 12:20 - 13:10 | Herman Winick |
| 13:10 - 13:40 | Brenda Valderrama |

### MIÉRCOLES 24 JUNIO

| | |
|---|---|
| 9:00 - 9:30 | Matías Moreno |
| 9:30 - 10:20 | Caterina Biscari |
| 10:20 - 11:10 | Roger Falcone |
| 11:10 - 11:30 | *Café* |
| 11:30 - 13:00 | **Mesa redonda**<br>*El liderazgo de la Ciencia y la Tecnología* |
| 13:00 - 13:50 | Brian Kobilka |
| 13:50 - 15:30 | *Comida* |
| 15:30 - 17:00 | **Mesa redonda**<br>*Política científica y los grandes proyectos* |
| 17:00 - 17:50 | Miguel Ángel García |
| 17:50 - 18:20 | **Clausura**<br>Enrique Cabrero<br>Jorge Flóres |
| 18:20 | **Brindis** |

2015

**EL COLEGIO NACIONAL**
LIBERTAD POR EL SABER

www.fisica.unam.mx/sincrotron/ColNal

Proyecto Sincrotrón Fomix-Morelos Conacyt es un esfuerzo conjunto de instituciones académicas y gubernamentales para desarrollar el proyecto de diseño y construcción del primer sincrotrón en México. Para el éxito de esta instalación de alta tecnología resulta de crucial importancia el respaldo y colaboración con la industria mexicana.

MORELOS CONACYT


Informes
Proyecto Sincrotrón FOMIX Morelos-CONACYT
Oficina de Vinculación Industrial

matias@fisica.unam.mx


www.fisica.unam.mx/sincrotron/CalNal


Textos: Alenka Rueda/ Instituto de Física, unam
Diseño: Instituto de Física, unam


# RAZONES PARA CONSTRUIR UN SINCROTRÓN EN MÉXICO

## Consenso internacional

La mayoría de los documentos rectores de la política en ciencia y tecnología internacionales ha llegado a la misma conclusión: la fuente de luz sincrotrón está revolucionando los campos de investigación científica y tecnológica multidisciplinaria en el mundo.

## Ciencia sin fronteras

Facilitará el avance de la ciencia (ciencia básica) y la solución de problemas específicos (ciencia aplicada), en sectores que van desde alimentos, energía, salud y protección al medioambiente hasta el arte, la conservación del patrimonio o la creación de materiales.

## Ahorro significativo

Por cada experimento en la fuente de luz sincrotrón se ahorran o generan ingresos que van de 5 a 500 millones de dólares. Si el costo probable de su construcción irá de los 20 a los 25 millones de dólares (distribuidos en 5 años), es fácil prever la recuperación de la inversión a corto plazo.

## Usuarios, sin necesidad de emigrar

Se tiene registro de 198 usuarios mexicanos que viajan, en su mayoría a los Estados Unidos y Europa, para conducir sus experimentos en sincrotrones extranjeros. Con un sincrotrón mexicano no tendrían necesidad de hacerlo y se aumentaría el número de usuarios potenciales.

Los sincrotrones, son súper-microscopios que, al acelerar electrones de manera sincronizada, son capaces de emitir un haz de luz millones de veces más brillante que la luz solar y en pulsos de cien mil millonésimas de segundo.

Este haz de luz es capaz de penetrar la materia a niveles sin precedentes con frecuencias desde rayos infrarrojos hasta rayos X de alta energía.

Y saber, por ejemplo: la geometría del material, sus propiedades eléctricas, su composición química, magnética, y comportamiento bajo esfuerzos y efectos químicos a escalas nanométricas.

Con él, se pueden monitorear en tiempo real de mezclas, procesos y reacciones químicas con un grado de detalle sin igual.

## Cierre de la brecha científica y tecnológica

México es el único de los 15 países con mayor Producto Interno Bruto (PIB) que no tiene un sincrotrón. El país está rezagado en relación a sus contrapartes del mundo y en Latinoamérica (incluso Brasil tiene dos). Es tiempo de responder a este reto, cerrando esta brecha.

## Aumento de publicaciones y patentes

En la mayoría de los sincrotrones de tercera generación, existe una relación de por lo menos una publicación en revistas científicas de primer nivel y una patente por experimento realizado.

## ¿Sincrotrón igual a Nobel?

Desde 1981, por lo menos 24 científicos han sido galardonados con el premio Nobel por experimentos realizados usando, directa o indirectamente, fuentes de luz sincrotrón en áreas como biología, genética y medicina.

## Impacto industrial

La luz de sincrotrón permite la comprensión eficaz de elementos y procesos como catálisis, aleaciones, galvanización, polimerización, metales, materiales manufacturados, tejidos orgánicos, entre otros. El acceso a esta información impacta de manera positiva a distintos ramos de la industria y la manufactura.

# 2015 Año Internacional de la Luz

# 5ª REUNIÓN DE USUARIOS DE LUZ SINCROTRÓN

## 12 -14 de agosto de 2015
## Cuernavaca, Morelos, México

Red Temática de Usuarios de Luz Sincrotrón
Asociación de Usuarios Mexicanos de Radiación Sincrotrón

**INFORMES:**

**luzsincrotronmex2015@gmail.com**

**www.fisica.unam.mx/sincrotron**

**SEDE:** Hotel Holiday Inn Cuernavaca

5ª REUNIÓN DE USUARIOS DE LUZ SINCROTRÓN

diseño:
Nasheli Jiménez del Val

# 5a Reunión de Usuarios de Luz Sincrotrón

**Wednesday 12 August 2015 - Friday 14 August 2015**

**Cuernavaca, Morelos**

# Programme

# Table of contents


Wednesday 12 August 2015 ..... 1

- Inauguración ..... 1
- Wednesday I ..... 1
- Coffee break ..... 1
- Wednesday II ..... 1
- Lunch ..... 3
- Discussion Panel 1 ..... 3
- Posters I ..... 3
- Wednesday III ..... 11

Thursday 13 August 2015 ..... 14

- Thursday I ..... 14
- Coffee break ..... 15
- Thursday II ..... 15
- Lunch ..... 16
- Discussion Panel 2 ..... 16
- Posters II ..... 17
- Thursday III ..... 23

Friday 14 August 2015 ..... 24

- Friday I ..... 24
- Coffee Break ..... 24
- Friday II ..... 24
- Asamblea ..... 25
- Lunch ..... 25

# Wednesday 12 August 2015

## Inauguración - (09:00-09:30)

| time | [id] title |
|---|---|
| 09:00 | **[74] Inauguración (00h30')** |

## Wednesday I - (09:30-11:15)

| time | [id] title |
|---|---|
| 09:30 | **[104] Evolution and future of light sources. (00h30')**<br>*Presenter: Mr. JUAREZ-REYES, Antonio (Instituto de Ciencias Físicas UNAM)*<br>Light sources have enjoyed a spectacular evolution since the development of the MASER. This introductory talk will provide to a general audience a glimpse on the evolution of the light sources, with emphasis on synchrotron radiation. The evolution in brilliance, wavelength span and time structure of the light pulses will be revised with an emphasis on the science that these developments have allowed to foster. More than a rigorous history revision, the aim of the talk is to set out the context of the present and exciting future developments in light sources. |
| 10:00 | **[78] Theory and Interpretation of X-ray Spectra Spectroscopies* (00h45')**<br>*Presenter: Prof. REHR, John (Department of Physics, University of Washington)*<br>There has been dramatic progress in recent years in theories of x-ray spectra and other core-level spectroscopies. Here we discuss the two complementary approaches that build on theories of excited-state electronic structure and response functions. Both include several many-body effects that are crucial to a quantitative description. First is a real-space Green's function (RSGF) approach for calculations of x-ray absorption (XAS) and electron energy loss spectra (EELS). This theory is implemented in a relativistic, all-electron code FEFF9 [1], which is applicable to periodic and aperiodic materials alike, throughout the periodic table. The approach can now include ab initio treatments of many-body effects such as the screened core-hole interaction, extrinsic and intrinsic inelastic losses, Debye-Waller factors, and approximations for strong correlation effects. For example, FEFF9 uses a many-pole GW self-energy (MPSE) to treat final state broadening and self-energy shifts; the most recent release also treats Hubbard model corrections. We also discuss the interpretation of the spectra in terms of geometrical and excited state electronic structure. Second, is a more sophisticated GW/Bethe-Salpeter Equation (GW/BSE) approach, which is implemented in the hybrid package OCEAN [2]. This package use wavefunctions from plane-wave pseudopotential codes (ABINIT or QuantumESPRESSO), the NIST BSE solver, and the MPSE self-energy. We also discuss recent extensions for treating L-shell spectra and multiplet effects. Though OCEAN is computationally demanding, recent extensions have greatly improved its applicability. While OCEAN is limited to near edge spectra, FEFF9 loses accuracy close to an edge. However, the combination permits full-spectrum calculations over a broad spectrum from soft- to hard-x-ray energies. These approaches are illustrated with a number of applications.<br><br>References<br>[1] J J Rehr, J J Kas, M P Prange, A P Sorini, Y Takimoto, and F Vila, Comptes Rendus Physique 10, 548 (2009).<br>[2] J Vinson, J J Kas, F D Vila, J J Rehr, and E L Shirley, Phys. Rev. B 85, 045101 (2012).<br>[*]Supported by DOE Grant DE-FG03-97ER45623, and by the DOE CMCSN |
| 10:45 | **[66] X-ray Structural studies of triosephosphate isomerases (00h30')**<br>*Presenter: Dr. LUIS, Brieba (Langebio-Cinvestav)*<br>Little is known of the molecular consequences in the oligomeric form in triosephosphate isomerase. Herein we present data that describes that specific point mutations in triosephosphate isomerase produce monomeric enzymes. We present the X-ray crystal structures of 4 monomeric triosephosphate isomerases and 4 dimeric enzymes. Our data highlights the idea that protein assemblies can be modulates by other molecules. |

## Coffee break - (11:15-12:00)

## Wednesday II - (12:00-14:00)

| time | [id] title |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 12:00 | **[86] ID21 a synchrotron multi-modal platform for micro-spectroscopic analyses: applications in environmental science and cultural heritage (00h30')**<br>*Presenter: Dr. CASTILLO-MICHEL, Hiram (ESRF)*<br>ID21 offers a multimodal set of state-of-the-art techniques for micro-spectroscopic analyses in the tender X-ray (2-9.2KeV) and mid-infrared domains.<br>The scanning X-ray microscope offers sub-micron resolution (0.2×0.7$\mu m^2$) and ppm detection limits for micro-X-ray fluorescence ($\mu$-XRF) and micro X-ray absorption spectroscopy ($\mu$-XANES). It operates in vacuum and samples can be studied under cryogenic conditions, allowing the study of frozen hydrated biological specimens (cryosectioned tissues) [1]. Typical applications are mapping and speciation of nanoparticles and metal pollutants in soils and organic matrices (e.g plants) [2-5]. The full-field XANES end-station is extremely powerful for elemental speciation in samples compatible with the transmission detection mode. It offers large field of view (up to 2mm2) and lateral resolution between 1.5-0.7$\mu$m2 resulting in millions of XANES spectra from one specimen [6,7]. In complement to the above techniques, the $\mu$-XRD branch is now available to perform crystalline phase mapping (1×2 $\mu$m2 beam). The $\mu$-Infrared end-station completes the tool box offering molecular group mapping (5-12$\mu$m2 beam). The unique capabilities of ID21 will be illustrated with scientific examples in the fields of environmental science and cultural heritage.<br><br>[1] Salomé et al. (2013) J. Physics: Conf. Series, 425(18), 182004. [2] Larue et al. (2014) J. Hazard. Mat., 264, 98-106. [3] Servin et al. (2012) Env. Sci. Technol., 46(14), 7637-7643. [4] De la Rosa et al. (2014) Int. J. Phytorem. 16, 1073-1086. [5] Auffan et al. (2014) Nanotoxicol., 8, 167-176. [6] Fayard et al. (2013) J. Physics: Conf. Series, 425(19), 192001. [7] De Andrade et al. (2011) Analyt. Chem., 83, 4220-4227. |
| 12:30 | **[112] DINÁMICA DE MOLÉCULAS EN ESTADOS ELECTRÓNICAMENTE EXCITADOS. ESTUDIOS POR ESPECTROSCOPÍA DE PULSOS LÁSER ULTRACORTOS (00h30')**<br>*Presenter: Dr. PEON PERALTA, JORGE (INSTITUTO DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO)*<br>Los fenómenos que resultan del cambio de la configuración electrónica de un compuesto ocurren en la escala de tiempo de los femtosegundos y los picosegundos. Estos procesos son centrales en campos como la fotoquímica y la opto-electrónica molecular. En esta presentación se darán a conocer resultados recientes de estudios sobre la dinámica de estados electrónicos superiores de diversos sistemas moleculares, mediante el seguimiento de la emisión molecular transitoria con resolución de femtosegundos. |
| 13:00 | **[70] Synchrotron Radiation in the Universe (00h30')**<br>*Presenter: Dr. TRINIDAD, Miguel Angel (Departamento de Astronomia, UG)*<br>The mechanism of synchrotron radiation is an important astrophysical process. Synchrotron radiation is a type of non-thermal emission where relativistic electrons spiral around the magnetic field lines. Since electrons are being accelerated, this process produces strongly polarized radiation, which is beamed in the direction of motion of the electrons. Synchrotron radiation has a characteristic continuous spectrum, which is a power law and its shape depends on the energy distribution of the emitting electrons. Astronomical objects that emit synchrotron radiation are active galactic nucleus, pulsars, supernova remnants, planets with strong magnetic fields, among others. In astrophysical environments, synchrotron radiation is detected at wavelengths from radio to gamma rays. But unlike terrestrial synchrotron, where the magnetic fields are very intense and radiation is observed at the optical, in interstellar medium, magnetic fields are weak, so that radiation is mainly observed at radio wavelengths. |

| | |
|---|---|
| 13:30 | **[71] Identificación de arseniatos de calcio con luz sincrotrón. (00h30')**<br>*Presenter: Dr. MARTÍNEZ-VILLEGAS, Nadia (IPICyT)*<br>Resumen.<br>En este trabajo identificamos el tipo de arseniatos de calcio que se encuentran en muestras de sedimento de un acuífero altamente contaminado con arsénico ubicado en Matehuala, San Luis Potosí, México. Los sedimentos en contacto con hasta 158 mg/L de arsénico en agua a pH neutro se estudiaron por difracción convencional de rayos X, microscopía electrónica de barrido acoplado a análisis de dispersión de energía de rayos X (SEM- EDS) y micro difracción de rayos X en sincrotrón. La identificación de arseniatos de calcio por análisis convencionales de difracción de rayos X no fue posible debido a que los especímenes de interés son de tamaño micro y se encuentran en una matriz de calcita, yeso y cuarzo que comprende casi el 100 % de las muestras, lo que imposibilita separar la señal de los arseniatos de la señal de la de la matriz y/o el ruido. No obstante, especímenes aciculares compuestos de calcio, arsénico y oxígeno se observaron comúnmente en las muestras de sedimento durante los analices SEM -EDS utilizando un detector de electrones retrodispersados. En contraste, los análisis de rayos X en sincrotrón permitieron revelar algunos picos característicos de guerinita, haidingerita y farmacolita, lo que sugiere que estos son los arseniatos de calcio presentes en los sedimentos, los arseniatos de calcio que controlan la solubilidad del arsénico en el acuífero contaminado en Matehuala y los arseniatos de calcio que prevalecen a largo plazo en el ambiente después de ciclos de disolución y precipitación. La identificación de estos arseniatos es consistente con las condiciones ambientales del sitio de estudio y las observaciones SEM-EDS, sin embargo, dicha identificación no es inequívoca debido a la comparación de patrones experimentales de difracción de rayos X tomados en monocristales contra tarjetas de difracción de polvos, lo que previene la identificación estrictamente apropiada de los especímenes analizados. En este sentido, también se identificó escorodita pero su presencia es cuestionable a pH 7 y en presencia de guerinita, haidingerita y farmacolita por lo que este último resultado debe tomarse con reserva y un estudio más profundo, con técnicas analíticas adicionales y/o mejoradas, debe llevarse a cabo para encontrarle una explicación ambientalmente consistente a los picos de difracción de rayos X asignados a la escorodita, mismos que podrían corresponder a algún mineral arcilloso que podría no contener arsénico. |

## Lunch - (14:00-16:00)

## Discussion Panel 1 - (16:00-17:30)

time [id] title

| | |
|---|---|
| 16:00 | **[30] Direct experiences with the operation of a beamline. (01h30')**<br>*Presenters: Dr. CASTILLO MICHELL, Hiram (ESRF), Dr. FUENTES-MONTERO, Luis (Diamond Light Source), Dr. OLALDE-VELASCO, Paul (Instituto de Ciencias Nucleares UNAM)*<br>Moderator: Antonio Juárez |

## Posters I - (17:30-18:30)

| [id] title | board |
|---|---|
| **[41] Structural crystalography of Mu-class glutathione S-transferase from shrimp Litopenaeus vannamei (01h00')**<br>*Presenter: Ms. JUÁREZ-MARTINEZ, Ariadna Berenice (IBT-UAEM)*<br>Glutathione S-transferase is a widely distributed enzyme, found in diverse organisms like microbes, insects, plants, fish, birds and mammals. Currently, four types of GSTs has been described and characterized: class Pi, Mu, Alpha and Theta. These enzymes catalyze nucleophilic attack by reduced glutathione (GSH) on nopolar compounds (or xenobiotics) that contain an electrophilic carbon, nitrogen or sulphur atom. Experimental data suggest that sublethal concentration of certain metals may affect the capacity of several organisms to achieve detoxification against some pesticides or xenobiotics. It is crucial to remark that many of those xenobioticss are presents in the marine sediments. Our work is focused on the 3D structural description of a Mu class GST from Litopenaeus vannamei, leg white shrimp (LvGST). We have purified this protein and it was used to obtain crystals using different crystallization conditions. Crystals of LvGST were diffracted at the APS (Advanced Photon Source) in Chicago and the NSLS (National Synchrotron Light Source) in New York. At the moment we have the native structure at a resolution of 1.90 Å, being visible the interaction of the catalytic reside (tyrosine 7) with the sulfhydryl group of GSH. Currently we are growing crystals of LvGST in presence of diferrent metals in order to evaluate the possible structural effects over LvGST structure and function. | |

**[44] Crystallographic Structural Determination of a Trigonal Laccase from Coriolopsis Gallica (CgL) to 1.5 Å Resolution (01h00')**

*Presenter: Dr. RUIZ ARELLANO, rayana (unam)*

Fungal Laccases are proteins secreted by filamentous fungi, which have the function of substrate oxidation of a wide range of compounds. Laccases have been of interest in the industry for its ability to transform various industrial dyes.
The laccase studied in this work is extracted from Coriolopsis gallica (CgL), the enzyme has a molecular mass of aproximately 60 kDa, has a pI of 4 and an optimal activity between 50 and 70 ° C. CgL is a glycosylated protein whose glycosylation has been proposed to be responsible for the structural stability, thereof is a monomeric protein which in order to be active needs four copper atoms coordinated by histidines attached to a redox site, each copper is classified according to their spectroscopic characteristics. CgL was extracted and purified from the natural source and then was crystallized. CgL 3D structure was determined by diffraction of X-rays and a different crystal system to those previosly reported, by our group, and deposited in the pdb was found (pdb entry 4A2H, space group P212121). Analysis and study of this structure, as well as the structural differences due the different crystalline matrices are present.

**[51] Syncrotron radiation as a tool to determine chemical structure modification of wheat straw (Triticum aestivum) treated with an enzymatic extract obtained from Methylotrophic Bacteria. (01h00')**

*Presenter: Dr. MOLINA GUERRERO, Carlos Eduardo (Universidad de Guanajuato)*

Vegetal biomass, also called lignocellulose, is distinguished by being refractory to physicochemical and enzymatic treatments [1]. Several factors are the responsable of this recalcitrance behaivor as the cristallinity and composition of biomass (Cellulose, hemicellulose and lignin). The efficient enzymatic saccharification of cellulose at low cellulase (protein) loadings continues to be a challenge for commercialization of a process for bioconversion of lignocellulose to etanol [2]. Cellulases are enzymes that hydrolyze the ß-(1 → 4)-linkages in cellulose. Though cellulase research has been concentrated mostly in fungi, actinomycetes, and protozoa, there is an increasing interest in cellulose production by bacteria [3-5]. In this context, pink pigmented facultative methylotrophs (PPFMs) are a physiologically interesting group of bacteria that are capable of growing on single carbon such as methanol and methylamine, as well as on C2, C3, and C4 compounds [6]. These bacteria can be found in plant phyllosphere and are not considered to be passive passengers on plant leaves, and is known that can stimulate seed germination and plant development. Though earlier studies indicate cellulase production by PPFMs [7] that can be used for transform cellulose in glucose in a bioethanol process.
This work proposes the use $\mu$-FTIR in order to understand the structural changes during enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass that could lead to improved processes and cost reductions for bioethanol production.

1. Valdez-Vazquez I., Pérez-Rangel M., Tapia A., Buitrón G. Molina C., Hernández G., Amaya-Delgado L. 2015. Hydrogen and butanol production from native wheat straw by synthetic microbial consortia integrated by species of Enterococcus and Clostridium. Fuel, 159: 214-222. IN PRESS doi:10.1016/j.fuel.2015.06.052
2. Arantes V, Saddler JN. Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis. Biotechnol Biofuels 2010;3:4.
3. Nipa, M. N., Sultana, S., & Hakim, M. A. (2006). Bangladesh Journal of Microbiology, 23(2), 174–176.
4. Gosh, B. K., Gosh, A., & Salnar, A. (1987). In J. Chaloupka & V. Krumphanzl (Eds.), Extracellular enzymes of microorganisms: Cellulase secretion from a hypercellulolytic mutant (pp. 157–172). New York: Plenum.
5. Lynd, R. L., Weimer, J. P., Van Zyl, H. W., & Pretorius, S. I. (2002). Microbiology and Molecular Biology Reviews, 66, 506–577.
6. Chistoserdova, L., Chen, S. W., Lapidus, A., & Lidstrom, M. E. (2003). Journal of Bacteriology, 185 (10), 2980–2987.
7. Madhaiyan, M., Park, M. S., Lee, H. S., Kim, C. W., Lee, K. H., Seshadri, S., et al. (2004). Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 37(1), 46–53.

**[53] Estructura y función de quimotripsinas de camarón. (01h00')**

*Presenter: Dr. HERNANDEZ-CORTES, Patricia (CIBNOR)*

Las quimotripsinas de crustáceos tienen características estructurales diferentes a los de vertebrados tal como menor número de puentes disulfuro y no conservan el péptido de activación en la enzima madura. Una de las propiedades distintivas de estas enzimas es la capacidad de hidrolizar colágeno nativo que solo lo realizan metalo proteasas de vertebrados y bacterias. En camarón se han encontrado dos tipos de quimotripsinas. La quimotripsina BI tiene un sitio de reconocimiento similar a su contraparte de vertebrados: Ser189, Gly216 y Ala226. La quimotripsina BII tiene una inusual geometría en la que se encuentran substituciones en dos de los tres residuos que forman el sitio de reconocimiento: Gly189, Gly216 y Asp226. A las quimotripsinas con esta combinación de aminoácidos algunos autores la denominan braquiurinas ya que se describieron por primera vez en un cangrejo, grupo que pertenecen al infraorden braquiura. Si bien el sitio de reconocimiento influye en la eficiencia catalítica, no es determinante en la capacidad de hidrólisis de colágeno, siendo necesarias otras subregiones de la enzima. Además de presentar evidencias experimentales que se han realizado con diversas quimotripsinas de crustáceos, también se mostrará deducciones estructurales de las quimotripsinas de camarón y el potencial de colaboración con el grupo de usuarios del sincrontrón.

**[58] PROTECTIVE EFFECT IN VITRO PLANTS CUCUMIS SATIVUS L. (AMERICAN CUCUMBER) BY BACTERIA ENDOPHYTES TOLERANT Cd (II) ROOT ISOLATED TYPHA LATIFOLIA (ESPADAÑA) (01h00')**

*Presenter: Ms. MOCTEZUMA GRANADOS, CLAUDIA ESTHELA (PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES/UASLP)*

Endophytic bacteria from the roots of Typha latifolia grown in soils contaminated with heavy metals were isolated. A total of 205 bacteria was obtained, which showed different levels of tolerance to Cd (II). 116 bacteria was observed that had one or more promotional features to solubilize phosphates plant, secrete siderophores, producing indole acetic acid (IAA) or possess the enzyme 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase. 22 of these bacteria also showed a high tolerance to Cd (II) (MIC> 500 ppm). Isolated GRC065, GRC066, GRC093 and GRC140 were inoculated in seeds of Cucumis sativus L. (American cucumber) to observe its protective effect in plants exposed to 50 ppm of Cd (II). It was observed that the bacterial isolate to inoculate the plants tolerance to these metal was increased, so the elongation of the primary root and increase in the number of secondary roots evidenced. The presence of endophytic bacteria tolerant to Cd (II) inoculated in C. sativus plants could contribute in promoting plant growth, promote tolerance and improve metal phytoextraction processes in fitoacumuladoras plants. The use of techniques such as synchrotron light would assess whether or not this process is encouraging, demonstrating the availability of metal speciation, oxidation states, as well as display the section of the plant where the metal is hosting and how so endophytes isolated (GRC065, GRC066, GRC093 and GRC140) contribute to its degradation, assimilation or stabilization.

**[63] Effect of phytohormone 2-6-□-benzilaminopurine in the morphogenetic response of Laelia anceps Lindl. subsp. anceps (Orchidaceae) (01h00')**

*Presenter: Mr. CASTILLO PÉREZ, Luis (Universidad Autónoma de San Luis Potosí)*

Laelia anceps Lindl. subsp. anceps is an endemic orchid of Mexico with a significant distribution in the Huasteca Potosina. In this region, anthropogenic activities such as fire forestakes, the change in land use and the illegal cutting of trees together with the removal of large numbers of plants for the illegal sale, this has caused serious damage in the number of wild orchid populations. A biotechnology alternative for the conservation of mexican orchids is the use of techniques such as Plant Tissue Culture as micropropagation. The aim was to analyze the effect of regulatory growth phytohormone 2-6-■-benzilaminopurine (BAP) in the morphogenetic plant response. The effect of BAP in the formation of new shoots and roots was evaluated. Were used as explants seedlings of three months old germinated in vitro in the laboratory of Environmental Sciences at the U.A.S.L.P. – U.A.M.Z.H. which they were cultured in a new medium supplemented with BAP (0, 2.5, 5 y 10 mg L-1) and coconut water (0.03 mL L-1). Oxidation and contamination rate and the number of shoots , the height , the number and length of roots was evaluated for three periods of 90 days each. A low rate of oxidation was showed. The formation of 14.5 ± 1 new bunds in the media with 10 mg L-1 BAP and 0.03 mL L-1 of coconut water was observed, treatment was also effective in stimulating the formation of the root system. The synchrotron light allows observation of inaccessible spaces for visible light, so that could be taken into account to study the organic chemical process and determine the exact location of this hormone in the plant tissue L. anceps Lindl. subsp. anceps and obtain high resolution images of different morphogenetic stages, also locating the interaction of BAP at the cellular level.

**[64] EFECTO DEL HONGO Trichoderma harzianum EN EL ENRAIZAMIENTO Y PREACLIMATACIÓN DE LA ORQUÍDEA Euchile mariae (01h00')**

*Presenters: Prof. VITE ORTA, RITZY GUADALUPE (Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca; Universidad Autónoma de San Luis Potosi), Prof. SUSTAITA CERVANTES, Raquel (Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca; Universidad Autónoma de San Luis Potosi)*

La orquídea Euchile mariae es una de las especies mexicanas más conocidas en horticultura y es una de las más apreciadas en el país. La dificultad que presentan las semillas para germinar, la necesidad de un polinizador, así como el saqueo ilegal han ocasionado que esta orquídea se encuentre en la lista de amenaza de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010, esto indica la importancia y necesidad de establecer estrategias eficientes para la micropropagación y conservación de ésta especie. Una alternativa biotecnológica es el Cultivo de Tejidos Vegetales, ya que ofrece una serie de sistemas modelo ideales para la investigación fisiológica, genética y estructural, además de tener una aplicación práctica en la clonación, conservación y manipulación in vitro de cualquier material vegetal. El objetivo de este trabajo fue establecer las condiciones óptimas para la multiplicación y enraizamiento simbiótico con el hongo Trichordema harzianum y con ello favorecer la sobrevivencia de las plántulas al medio ambiente. Este microorganismo por ser un hongo endófito brinda protección a la planta frente a ataques de patógenos, ya sea por metabolitos secundarios o por el mejoramiento en la nutrición a través de la disponibilidad de los nutrientes. Para ello fue necesario cultivar el hongo en caldo papa dextrosa durante 8 días en una agitación constante de 2000 rpm a una temperatura de 25° C, obteniendo el metabolito final del hongo, el cual se homogenizo con medio MS y sacarosa en una concentración de 1% y se agrego a distintos tratamientos con ácido indol-3-acético a diferentes concentraciones (0.5 y 1 mg L-1). La aplicación de la luz sincrotrón en este trabajo radica en la necesidad de conocer la estructura del metabolito producido por el hongo Trichordema harzianum así como la asimilación de nutrientes en la orquídea manifestada en cambios morfológicos de las raíces de la planta.

**[67] Análisis estructural de proteasas de organismos marinos, utilizando como modelo la catepsina D1 de langosta americana. (01h00')**

*Presenter: Mr. RODRÍGUEZ SIORDIA, Iván (Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste)*

Debido a su relevancia biotecnológica, diversas proteasas de origen marino han sido descritas desde el punto de vista bioquímico y fisiológico, buscando explicar los procesos que catalizan, para asignarles una aplicación industrial. Las proteasas de organismos marinos se caracterizan por presentar adaptaciones estructurales que les permiten efectuar procesos proteolíticos en las diversas condiciones del medio marino, que pueden llegar a ser extremas en términos de temperatura y presión. La mayoría de los reportes tienen como objeto de estudio a proteasas de microorganismos, buscando entender los mecanismos bioquímicos y las propiedades estructurales que presentan estas proteasas. El medio marino es extremadamente diverso y organismos de otros taxa también presentan proteasas con características sobresalientes que sugieren una alta estabilidad conformacional. Actualmente nuestro grupo estudia enzimas digestivas de crustáceos, más específicamente las de langosta americana, Homarus americanus; en esta especie se ha demostrado que las proteasas digestivas presentan hasta 20 veces mayor eficiencia catalítica en comparación con enzimas homólogas de vertebrados. Una de ellas es la catepsina D1 (CD1), la cual ha sido estudiada desde un punto de vista bioquímico, termodinámico y de especificidad por sustrato, se sabe que esta enzima marina comparte especificidad (por residuos hidrofóbicos principalmente) con sus homólogos bovino y porcino, sin embargo, en su estructura primaria presenta menos de 50% de identidad, lo que podría explicar las diferencias en las características bioquímicas y termodinámicas, pues la CD1 presenta una mayor eficiencia catalítica que sus homólogas en un amplio rango de temperaturas (5 - 50 °C), por lo que se ha catalogado como una enzima adaptada al frío. Actualmente se estudia la estabilidad conformacional de la CD1 expuesta a diferentes condiciones de temperatura, pH, concentración de agentes caotrópicos y solventes, utilizando fluorescencia intrínseca y espectro de dicroísmo circular, con el fin de explorar una posible aplicación en la industria. Expresado lo anterior, nuestra participación conjunta con usuarios del Sincrotón, nos ayudaría a explorar la posibilidad y condiciones experimentales para obtener la estructura de la CD1 por medios cristalográficos y así expandir el conocimiento de enzimas marinas, así como, los mecanismos estructurales que le permiten mantener su actividad catalítica, aún en ambientes extremos.

**[68] Crystallographic studies of DNA ligase from Thermococcus gammatolerans. (01h00')**

*Presenter: Ms. FLORES HERNÁNDEZ, Edith (IBT-UAEM)*

DNA ligases are ubiquitous proteins involved in cellular processes such as replication, repair and recombination of DNA. These enzymes catalyze the formation of a phosphodiester bond between adjacent 5'-phosphate and 3'-hydroxyl termini at single-stranded breaks in double-stranded DNA. DNA ligases from thermophilic and hyperthermophilic archaea have been used as model systems in structural and mechanistic studies of DNA ligation. In this project we worked with the radioresistant archaeon, Thermococcus gammatolerans, which was isolated after an exposure to a gamma irradiation dose of 30 kGy from enriched culture of microorganisms collected at the Guaymas, Sonora basin. As its name suggests, this organism can withstand a dose of 3000 Gy without apparent lethality and an exposure to higher doses only slightly reduces its viability. These data indicate that T. gammatolerans is the most radioresistant archeon isolated thus far, offering the chance to determine how archaeal species recover from extensive DNA damage after exposure to a massive radiation dose. The most widely used technique to elucidate the structure of a protein is X-ray diffraction. Therefore experiments of purification, crystallization and structural determination of T. gammatolerans is an appropriate strategy for atomically describe this enzyme. This project is framed in the search of DNA repair factors that must exist in T. gammatolerans. DNA ligase from the archeon T. gammatolerans was overexpressed, purified and crystallized.

**[72] CARACTERIZACIÓN DE FERRITINA EN SUERO SANGUÍNEO: ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO (01h00')**

*Presenter: Mr. RUVALCABA, Juan Manuel (Universidad de Guanajuato)*

La ferritina es una proteína de almacenamiento de hierro, presenta una forma movilizable como ferritina y hemosiderina como una fracción insoluble, importante para diferentes procesos bioquímicos en el cuerpo humano. Este trabajo se centra en la identificación y caracterización de esta biomolécula por medio de espectroscopia Raman en suero sanguíneo. Se extrajo sangre de pacientes sanos y se centrifugó para generar el suero sanguíneo, posteriormente se realizó el análisis por espectroscopia Raman. Los resultados obtenidos mediante microscopia se adquirieron explorando 9 espectros de una sección de la muestra realizando un mapeo, primero encontrando el espectro del suero sanguíneo para después buscar la presencia de ferritina localizando las bandas características situados en el rango de 200-1000 cm-1. Así, existiendo una estrecha relación entre el tamaño de los depósitos de hierro en el cuerpo y la concentración de ferritina en el plasma, se puede relacionar los niveles de ferritina con diferentes padecimientos hematológicos. Por la mayor precisión que presenta la radiación sincrotrón sobre la información estructural se puede usar esta técnica en la caracterización de la ferritina en suero sanguíneo ya que la concentración de esta proteína es muy baja y así realizar un estudio más completo.

**[81] REDUCTION OF THE ACTIVE SITE OF BOVINE LIVER CATALASE WITH X-RAY (01h00')**

*Presenter: Mr. GÓMEZ, Osvaldo (IBT.UNAM)*

Bovine liver catalase (BLC) is an homotetrameric enzyme that catalizes the dismutation of hydrogen peroxide, producing two water molecules and one oxygen molecule. This enzyme belongs to clade 3 monofunctional catalases that depends on an heme group per subunit (small subunit catalases). The objective of this project is getting the crystallographic structure of compound I and analyze the reduction of the active site with increasing X ray doses. Because BLC is a tetrameric enzyme, it can be compared the susceptibility of reduction among the four active sites. We can compare this process of the active site reduction with a large subunit catalase. For this purpose, the BLC crystals were soaking on peracetic acid, producing the compound I. The crystals of compound I were collected at synchrotron. The four monomerers do not show the same behavior with increasing X ray doses.

**[87] Crystallographic structure of Proliferating Cell Nuclear Antigen from radioresistant archaeon, Thermococcus gammatolerans (01h00')**

*Presenter: Mr. VENANCIO-LANDEROS, Alberto-Antony (IBt-UNAM)*

Thermococcus gammatolerans is a strictly anaerobic; hyperthermophilic archaeon belongs to the order Thermococcales in the phylum Euryarchaeota. It was extracted from a hydrothermal vent from the Guaymas Basin (Gulf of California, Mexico). Different studies show that T. gammatolerans is one of the most radioresistant organisms known amongst the archaea. This makes it a unique model to study adaptations to the environment and to study DNA repair mechanisms in an organism able to tolerate harsh conditions. A key protein in these mechanisms is the Proliferation Cell Nuclear Antigen (PCNA). Its function is focused on their ability to slide along the DNA duplex and coordinating the activities of proteins mainly related to DNA edition and processing. Analysis of archaeal proteins have proven to be enormously fruitful, because much of the information obtained from them can be extrapolated to eukaryotic systems, and PCNA is no exception. Here we report the cloning, recombinant expression, crystallization and structure determination of PCNA from T. gammatolerans (TgPCNA).

**[93] Crystal structure of pig kidney Fructose 1,6-biphosphatase with sulfate has a quaternary state between the canonical R- and T-states. (01h00')**

*Presenter: Dr. DÍAZ, Adelaida (Instituto de Biotecnología, UNAM)*

Fructose 1,6-biphosphatase (FBPase) governs a key step in gluconeogenesis. Catalyzes the hydrolysis of fructose 1,6-biphosphate to fructose 6-phosphate and inorganic phosphate in presence of divalent cations such as Mg2+ or Mn2+. In mammals, AMP and fructose 2,6-biphosphate (Fru-2,6-P2) synergistically inhibit FBPase. Fru-2,6-P2, the concentration of which is subject to hormonal control, directly inhibits FBPase by binding to its active site, whereas AMP binds to an allosteric site and induces a conformational change, converting the enzyme from an active quaternary conformation (R-state) to an inactive form (T-state).

FBPase has been a target for potential drugs in the treatment of Type II diabetes. Novel inhibitors have been developed, and in one case, knowledge of structure and mechanism contributed to the rational design of a new inhibitor.

Here, we report the crystal structure of pig kidney FBPase in complex with sulfate ions. The three-dimensional structure has been determined by molecular replacement method. Pig kidney FBPase crystallized in the cubic space group I23 with two subunits of the tetramer in the asymmetric unit. The structure contains several sulfate ions. In the active site of each subunit there are three sulfates, one of them found at the position normally occupied by the 6-phosphate group of the substrate. Other sulfate is present at the phosphate place of the allosteric inhibitor AMP. The fifth sulfate is on the crystallographic 2-fold axis that relates subunits C1 and C2 (and subunits C3 and C4). Although a sulfate bound at the C1-C4 interface was not found, a difference with respect Escherichia coli FBPase-SO4 complex. However, the binding of sulfate anions to porcine FBPase generates a conformational change in quaternary state of the enzyme, a rotation of C1-C2 subunit pair respect to the C3-C4 subunit pair about the vertical 2-fold axis. FBPase rotates about 6 degrees from the R-state, then the enzyme is in an intermediate quaternary state relative to the canonical R- and T-state. This results suggest a role of sulfate in FBPase activation.

**[98] Análisis de exposición a benceno en población infantil de Salamanca, Guanajuato. (01h00')**

*Presenter: Mr. FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Ricardo Omar (Universidad de Guanajuato)*

El municipio de Salamanca, Guanajuato y sus alrededores, han sido uno de los ejes de desarrollo industrial más importantes del país en los últimos cincuenta años. La instalación de industrias, el aumento del parque vehicular y de las zonas deforestadas han propiciado diversos problemas de contaminación, siendo el atmosférico uno de los de mayor relevancia. En el municipio existen industrias que por sus procesos liberan una cantidad considerable de contaminantes al ambiente, entre estos contaminantes se encuentra el benceno. El benceno, es un compuesto que puede ser utilizado en la producción de lubricantes, detergentes, drogas y pesticidas, así como un aditivo en la gasolina sin plomo. Se ha demostrado que la exposición al benceno por largos periodos de tiempo puede causar daño al tejido hematopoyético, especialmente en la médula ósea, además, está relacionada con el desarrollo de un particular tipo de leucemia llamada, leucemia mieloide aguda (LMA). En este trabajo, se realizó la evaluación de la exposición a benceno en población infantil de entre 6 y 12 años en cuatro primarias del municipio de Salamanca, por medio de la determinación de la concentración de ácido trans, trans-mucónico en muestras de orina por HPLC-UV. Se analizaron 66 muestras manteniendo el mismo porcentaje entre niños y niñas, y los resultados obtenidos arrojan que el 72.73 % de las muestras analizadas se encuentran dentro de los rangos de concentración esperados para zonas rurales y zonas urbanas según la categorización usada por Pelallo Martínez et. al. en el 2014, mientras que el 16.67 % corresponde a los límites máximos permitidos para exposición ocupacional en México y el 10.60 % se encuentran por encima de los límites permisibles, lo cual representa un foco de alerta ya que se esperaría que el 100 % de la población se encontrara en la primeras dos categorías mencionadas.

**[59] EVALUACIÓN DEL EFECTO GENOTÓXICO DURANTE LA FITOEXTRACCIÓN DE Pb POR Typha latifolia (Espadaña)" (01h00')**

*Presenter: Ms. PONCE ALONSO, Julieta (Universidad Autonoma de San Luis Potosi-Unidad Academica Multidisciplinaria Zona Huasteca)*

The aquatic macrophyte Typha latifolia (cattail) has the required characteristics to be used in phytoremediation because of its rapid growth, easy spreading and harvesting. Previous studies indicated T. latifolia has the ability to remove (in situ and ex situ) and accumulate Cd, Pb, Cr, As, Mn y Fe. However, although the information reported phytoremediation capacity of this plant species, still unknown the possible adverse effects associated with exposure to toxic elements and level of possible damage at the molecular level in this species. Therefore, a study was developed for the isolation of nuclei from young root of Typha latifolia for their subsequent evaluation at the molecular level. Plants of T. latifolia were collected from from ponds not previously contaminated with metals (Valles, S.L.P. and San Luis Potosí, S.L.P). To the isolation of nuclei it was used principals roots (rhizomes) and secondary roots of plants, and three solutions, (PBS phosphate buffered saline, PBS phosphate buffered saline 1:1 and Tris-MgCl2). The most efficient solution to the isolation of nuclei was Tris-MgCl2 buffer, because by observing in a bright-field microscope using this buffer solution, it was found that the isolated nuclei were more abundant than those obtained with other buffer solutions used. Subsequently, preliminary tests of alkaline comet assay to assess DNA fragmentation were performed. It was subsequently implemented the alkaline comet assay technique to evaluate the DNA fragmentation. The results showed that the best tissue for isolation of nuclei were apical Typha latifolia roots. Although still genotoxic damage was not evaluated in this plant species, it was possible to standardize the technique to the isolation of nuclei. Considering that synchrotron light permits detailed observation of nature complicated spaces that are inaccessible to observe with the visible light, there is interest in using the synchrotron light as in the scope of microscopy, this type of light provides high resolution images of cells into more detailed conditions than those offered by conventional techniques. This would help to further the study of the composition of the root cells of T. latifolia. Furthermore, the use of synchrotron light could know the exact location of the heavy metals in the tissues (root and aerial) of plant. With the results of this research was generated new scientific knowledge to continue with the evaluation of genotoxic damage from exposure to lead from this plant species.

**[94] Determinación de los biomarcadores de benceno, tolueno y xileno en niños residentes en Tula de Allende, Hidalgo (01h00')**

*Presenter: Ms. DURÁN MENDOZA, Fátima del Carmen (0109)*

El municipio de Tula de Allende, Hidalgo, es de gran relevancia para su estado así como para los aledaños debido a las empresas que se han instalado en él. Dentro de estas empresas se encuentran la Refinería Miguel Hidalgo, las Cementeras Cooperativa La Cruz Azul y CEMEX, así como la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos. En conjunto, estas empresas coinciden en la emisión de benceno y tolueno, compuestos que se encuentran de manera natural en el petróleo, y son liberados al ambiente durante su proceso de manufactura causando efectos adversos en las poblaciones aledañas.

El benceno es un compuesto químico incoloro que posee un olor dulce y es muy volátil. La generación de este compuesto puede darse de manera natural, así como de manera industrial al ser utilizado en la manufactura de otros compuestos o de manera involuntaria en algunos procesos como: la transformación del petróleo, en escapes de automóviles, fugas de gas, en el humo del cigarro, al igual que por combustión incompleta de materia orgánica. Por otro lado, las afectaciones a la salud a causa de este compuesto varían dependiendo de los niveles y el tiempo de exposición, encontrándose problemas desde mareos, náuseas, dolores de cabeza, convulsiones hasta casos más graves con alteraciones en la sangre y cáncer (ATSDR, 2007, IARC, 2012).

El tolueno, es un compuesto incoloro con olor característico que se encuentra de manera natural en el petróleo crudo. Este compuesto se produce durante el proceso de manufactura de gasolina y otros combustibles, en la elaboración de coque a partir de carbón, así como subproducto del estireno, humo del cigarro y al igual que el benceno es generado en la combustión incompleta de materia orgánica. Las afectaciones a la salud que trae consigo este compuesto por la exposición a él, pueden ir desde mareos, confusión, depresión, dolor de cabeza, hasta llegar a afectaciones en el sistema nervioso central (ATSDR, 2000).

Por otra parte, el xileno es un compuesto incoloro, de olor dulce y muy inflamable. El xileno se encuentra de manera natural en el petróleo crudo y se produce durante los incendios forestales. Es principalmente usado como solvente y en pinturas, se encuentra en pequeñas cantidades en los combustibles como la gasolina. El xileno afecta a la salud presentando irritación de ojos, piel y garganta, dificultad para respirar y afecciones en el hígado y los riñones. (ATSDR, 2007)

En este estudio se realizó un monitoreo de los metabolitos del benceno, el ácido trans, trans-mucónico (AttM), tolueno, el ácido hipúrico (AH) y xileno, el ácido 3-metil-hipúrico (A3MH), en orina como biomarcadores de exposición. Se evaluaron niños de edades entre 6-12 años de zonas aledañas. La determinación de los metabolitos se realizó mediante la técnica de HPLC-UV utilizando modificaciones a las metodologías de Ducos et al. para AttM y NIOSH para AH y A3MH. Para el control de calidad de dichas metodologías se utilizó un Clin-Check RECIPE® obteniendo un 85.13%, 92.3% y de 102.6% de recobro para AttM, AH y A3MH respectivamente.

Como resultado para el AttM la población analizada presentó un porcentaje de 20.63% de los niños con niveles superiores a los marcados en la NOM-047-SSA-2011 (500 $\mu$g/g de creatinina, exposición ocupacional) para benceno lo que resulta de relevancia. Además el 69.84% de ésta población se encuentra por encima de los niveles encontrados en zonas urbanas (170 $\mu$g/g de creatinina). Por otro lado, para el análisis del AH y el A3MH, se obtuvieron en todas las muestras niveles bajos correspondientes a individuos no fumadores y no expuestos. Todos los resultados se compararon con una población control del municipio de Irapuato, Gto., la cual, no se encuentra expuesta a ninguna de las fuentes de estos compuestos.

**[97] Determinación de Compuestos Orgánicos Persistentes en población infantil procedente del municipio de Salamanca, Gto. (01h00')**

*Presenter: Mr. ENCISO DONIS, Israel (Universidad de Guanajuato)*

Los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), en su mayoría son productos químicos a base de carbono y cloro, provenientes principalmente de origen sintético o como subproductos no intencionados resultantes de la combustión y de algunos procesos industriales. Los COPs son conocidos por: 1) presentar un alto grado de toxicidad, 2) permanecer en el ambiente años o décadas sin alterarse o degradarse, 3) viajar grandes distancias a través de aire y agua, llegando a encontrándose en lugares donde nunca han sido utilizados y 4) acumularse en los tejidos grasos de los organismos vivos incluyendo al ser humano. Los efectos de los COPs pueden ser muy sutiles y desencadenarse a bajas concentraciones, presentándose después de varios años de la exposición y llegando en ocasiones a presentarse en las subsecuentes generaciones. Entre los potenciales efectos nocivos de estos contaminantes para la salud se encuentran: cáncer, alteraciones en el comportamiento neuronal, alteraciones en el sistema inmune y deficiencias reproductivas, entre otros. Los problemas generados por los COPs han ocasionado su prohibición y/o restricción en muchos países además de la implementación de acciones internacionales como es el caso del Convenio de Estocolmo. En este estudio se realizó una evaluación del nivel de exposición en niños procedentes del municipio de Salamanca, Guanajuato, a este tipo de contaminantes, debido a que en dicho municipio existe como pasivo ambiental una industria dedicada a la fabricación y distribución de estos compuestos. En el estudio se realizó un análisis de 13 COPs en 27 niños del municipio de Salamanca, en el cual, se encontró que el único compuesto que no presentaron fue el 4,4-DDE (metabolito del 4,4-DDT), sin embargo, las concentraciones para los demás compuestos evaluados van desde el más mínimo 66.50 ng.g-1 de grasa para el Dieldrín, mientras que la máxima concentración encontrada fue de 5012.72 ng.g-1 para el Heptacloro, concentraciones de gran preocupación por los efectos adversos que traen consigo a largo plazo, por lo que se realizará un análisis completo de los datos obtenidos posteriormente así como un estudio más amplio.

**[73] Scavengers and pH: two approaches to reduce radiation damage on protein crystalline samples. (01h00')**

*Presenter: MURPHY PEREZ, Francisco (UNAM)*

Macromolecular X-ray crystallography is the experimental technique which allows to obtain atomic-detailed structural models of macromolecules in crystalline state. Radiation damage is an inherent problem in this technique. The consequences of radiation damage can be from obtaining models with altered atoms, incomplete amino acid residues, or even no model at all. In this work we analyzed two strategies to deal with radiation damage, specifically in the breaking of disulfide bonds, using hen egg white lysozyme (HEWL) crystals as a model. Both strategies attempt to eliminate the effects of the solvated electrons, one of the first free radicals generated within the macromolecular crystal. The first strategy was the use of complex molecules with heavy atoms as electron scavengers and the second strategy was the change in the pH of the crystallization solution, allowing hydrated electrons to react with protons. Our results suggest that the molecules evaluated here do not protect HEWL crystals from radiation damage. On the other hand the change in pH shows some preliminary positive results which need to be further analysed.

## Wednesday III - (18:30-19:45)

time [id] title

18:30 **[99] Momentum Resolved Resonant Inelastic X-Ray Scattering on Correlated Electron Materials (00h45')**

*Presenter: Dr. SCHMITT, Thorsten (Paul Scherrer Institute)*

Resonant Inelastic X-ray Scattering (RIXS) is a powerful probe of excitations from the electronic ground state of correlated materials involving lattice, charge, orbital and spin degrees of freedom. The experimental development of the RIXS technique in the soft X-ray energy range has been tremendous during the last years. Several instruments at synchrotron radiation sources world-wide have recently boosted the scientific capabilities with soft X-ray RIXS. The ADRESS beamline of the Swiss Light Source at the Paul Scherrer Institut and its RIXS spectrometer SAXES have increased the resolving power for the incident and the outgoing X-ray beam to above 10’000. Such an extremely high spectral resolution and the possibility to rotate the spectrometer to different scattering geometries allows for analysing the collective behavior of charge, orbital and spin excitations by assessing their momentum dependence.

In this talk we illustrate the scientific capabilities of momentum resolved soft X-ray RIXS on correlated electron materials in investigations on quasi-one dimensional cuprates, cuprate- and iron pnictide superconductors as well as oxide heterostructures. We observed dispersive orbital excitations, „orbitons“, in the spin chain compound Sr2CuO3, which are related to the separation of the spin and orbital degree of freedom [1]. In hole and electron doped cuprate superconductors (para)-magnon excitations persist across the whole phase diagram. Novel collective modes in Nd2-xCexCuO4 are indicative for the presence of a symmetry–broken state and the occurrence of a quantum critical point in the superconducting dome of this cuprate [2]. Persistence of dispersing high-energy spin excitations throughout the whole phase diagram in hole- and electron doped BaFe2As2 reveals the presence of doping-independent fluctuating magnetic moments in iron pnictides [3]. RIXS on LaAlO3 / SrTiO3 superlattices is probing the localized and delocalized Ti 3d electrons as well as the orbital reconstruction at the interface of these oxide heterostructures. [4]

References:

[1] Spin–orbital separation in the quasi-one-dimensional Mott insulator Sr2CuO3, J. Schlappa, K. Wohlfeld, K. J. Zhou, M. Mourigal, M. W. Haverkort, V. N. Strocov, L. Hozoi, C. Monney, S. Nishimoto, S. Singh, A. Revcolevschi, J.-S. Caux, L. Patthey, H. M. Rønnow, J. van den Brink, and T. Schmitt, Nature 485, 82–85 (2012), doi:10.1038/nature10974.
[2] Asymmetry of collective excitations in electron and hole doped cuprate superconductors, W. S. Lee, J. J. Lee, E. A. Nowadnick, W. Tabis, S. W. Huang, V.N. Strocov, E. M. Motoyama, G. Yu, B. Moritz, M. Greven, T. Schmitt, Z. X. Shen, T. P. Devereaux, Nature Physics 10, 883–889 (2014); DOI: 10.1038/nphys3117.
[3] Persistent high-energy spin excitations in iron pnictide superconductors, Ke-Jin Zhou, Yao-Bo Huang, Claude Monney, Xi Dai, Vladimir N. Strocov, Nan-Lin Wang, Zhi-Guo Chen, Chenglin Zhang, Pengcheng Dai, Luc Patthey, Jeroen van den Brink, Hong Ding, Thorsten Schmitt, Nature Communications 4, Article number 1470 (2013), doi: 10.1038/ncomms2428.
[4] Localized and delocalized Ti 3d carriers in LaAlO3/SrTiO3 superlattices revealed by resonant inelastic x-ray scattering, Kejin Zhou, Milan Radovic, Justine Schlappa, Vladimir Strocov, Ruggero Frison, Joel Mesot, Luc Patthey, and Thorsten Schmitt, Phys. Rev. B 83, 201402(R) (2011).

19:15 **[39] As and Cu speciation in mine tailings using synchrotron radiation (00h30')**

*Presenter: Prof. LOREDO-PORTALES, Rene (Universidad de Guanajuato)*

Potentially toxic elements are usually present in mine tailings in concentrations that may threat environmental and human health. In this research, mine tailings and soils from “La Aurora”, an abandoned mine, were studied in order to determine As and Cu speciation and understand its mobility in the environment. For this purpose, a combination of sequential chemical extractions (SEP), Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS), and X-ray synchrotron techniques (XAS) was used. This mining site is located in Xichu, Mexico and resides in a natural protected area that is recognized for its high biodiversity, biological resources and the existence of some endangered species. This site was exploited principally for Ag, Cu, Zn and Pb until the last cycle in 1957. Our results showed that mine tailings contains As, Pb, Cu and Zn up to 12485, 8760, 1400 and 6668 mg·kg-1, respectively.

We established 13 sampling points in mine tailings and 7 in soils nearby. Surface samples as well as 30 cm depth composites were taken at each point. Samples were dried at 500C and sieved to obtain particle sizes <0.25 mm and <0.85 mm. Elemental content analysis were performed by FAAS and X-ray Fluorescence (XRF) for validation purposes. Both methods yield similar results for Cu and As content. Cu is present in mine tailings and soils in a range between 142±19 and 1400±92 mg·kg-1 and 22±2 and 88±5 mg·kg-1, respectively. Repartition of Cu in mine tailings determined by SEP followed this general trend Water soluble > Residual > Organic Bound > Exchangeable > Fe-Mn-Oxides > Carbonate; and in soils as Residual > Organic Bound > Fe-Mn oxides > Carbonate > Water > Exchangeable. X-ray Absorption Near Edge Spectroscopy (XANES) linear combinations fits (LCF), showed Cu is present as Cu 2+ highly mobile species and in minor proportion as Cu+ species as oxides and sulphides. Cu content in mine tailings is available for plants and bioaccesible with percentages around 90% in almost all the points tested.

Arsenic was detected in mine tailings and soils in a range between 3140±302 and 12485±398 mg·kg-1 and 209± 10 and 327±10 mg·kg-1, respectively. Repartition of As determined by SEP followed this general trend in mine tailings Crystalline Fe-Oxides > Residual > Exchangeable > Amorphous Fe-Oxides > Specifically sorbed; and in soil as Crystalline Fe-Oxides > Amorphous Fe-Oxides > Exchangeable > Residual > Specifically sorbed. XANES LCFs showed that As is present as a secondary arsenate mineral of similar structure to kankite ($FeAsO_4 \cdot 3.5H_2O$) and beudantite ($PbFe_3(AsO_4)(OH)_6$). These results suggest that As is forming low soluble species and just a minor fraction is susceptible of mobilization. As fitoaccesible in mine tailings showed percentages between 3-22% and bioaccesible between 4-14%, in soils As fito and bioaccesible showed values around 20%. Extended X-ray Absorption Fine Structure (EXAFS) confirmed the structure of iron arsenate compounds as kankite and beudantite that share the tetrahedral structure $AsO_4$, corresponding to a single scattering of four oxygen atoms at 1.679 Å and a contribution of three Fe atoms at 3.389 Å.

Our results provide evidence of natural attenuation of As but the fraction available is still enough to generate a negative impact in the local environment. Cu is present in high soluble species and almost all Cu content is available for plants in addition in soils only insoluble species are retained, this support its high mobility in the surrounding environment.

# Thursday 13 August 2015

## Thursday I - (09:00-11:15)

| time | [id] title |
|---|---|
| 09:00 | **[82] Synchrotron Radiation in Molecular Taphonomy and Paleobiology (00h30')**<br>*Presenter: Dr. RIQUELME, Francisco (Universidad Autonoma del Estado de Morelos)*<br>The fossilization of organic inclusions –animals, plants and microorganisms- in amber is one of the most complex selective preservation processes from geological deposits. Amber fossils show complete morphologies and structurally almost intact tissues. Amber is a fossilized plant resin with a polymeric microfabric and indeterminate semicrystalline phases associated with the fossilization mechanism. In this contribution, a combined high-resolution microscopy and spectroscopies using Synchrotron-based techniques have been adapted to the ultraestructural and compositional study of amber, as was the morphologies and tissues of terrestrial arthropods trapped within it. To address questions regarding the botanical source of amber and taxonomic identity and biology of ancient organic inclusions, Infrared and X-ray micro-spectroscopies have been applied, such as $\mu$-FTIR, $\mu$-XRF, PIXE and XANES. |
| 09:30 | **[88] X-ray absorption Near Edge spectroscopy applied to the study of local atomic structure of ions in solution, e.g., Arsenic. (00h30')**<br>*Presenter: Prof. MUSTRE, José (CINVESTAV)*<br>We performed x-ray absorption spectroscopy measurements on the Arsenic K-edge of As(III) in solution under acidic conditions. X-ray near edge structure (XANES) spectra were compared with theoretical calculations which use local atomic structure configurations, derived from either density functional theory (DFT) energy minimization (EM) calculations, or based on classical Monte Carlo (MC) simulations, for a As(OH)3 cluster surrounded by water molecules. Calculations of XANES using either DFT-EM or the average configuration obtained from MC simulations do not reproduce the XANES spectra in the vicinity of the absorption edge. However, specific local atomic structural configurations of the As(OH)3 and water molecules, obtained from MC simulations, which show ordering of water molecules up to 5 Å from the arsenic, reproduce qualitatively the experimental spectra. These results highlight the capability of XANES to yield information about hydration of ions in solution. |
| 10:00 | **[83] The Upgrade of the ESRF: The next step in the development of storage ring based X-ray sources. (00h45')**<br>*Presenter: Dr. REICHERT, Harald (ESRF)*<br>The European Synchrotron Radiation Facility is Europe's premier hard X-ray synchrotron radiation source providing 45 experimental stations for scientists from its member and associate countries. The facility is currently engaged in an ambitious upgrade program (2009-2022) covering all aspects of the facility: photon production, experimental facilities for users, user service, and X-ray technology development.<br>The upgrade benefits all areas of X-ray applications: Imaging, Spectroscopy, and Diffraction. By the end of 2015 19 new or upgraded beamlines (Phase I of the upgrade program) provide new opportunities for the study of materials with probing beams down to the nanometer scale. Selected examples will be used to demonstrate first results from the ongoing upgrade.<br>In parallel we have started work on Phase II of the upgrade program focusing on a major upgrade of the storage ring with the goal to reduce the horizontal emittance by at least a factor of 40. This will create the first low emittance, high energy storage ring with unprecedented performance. The associated linear increase in brilliance and coherence caters for new applications of X-rays for the study of soft and hard condensed matter. Current planning aims for a start of operations of the new storage ring in 2020. |

10:45 **[48] In-house X-ray single crystal diffraction as a tool for efficient synchrotron data collection (00h30')**

*Presenter: Prof. SOTELO-MUNDO, Rogerio (CIAD)*

The benefits of synchrotron X-ray diffraction experiments are many, but involve traveling and many logistic issues. For macromolecule crystallographers there is a significant risk that the samples taken to the beamlight are salts or low-resolution diffracting crystals. Several technologies are available to screen crystals, from simple such as dye exclusion, smashing the crystal, X-ray equipment to diffract directly over the crystal plate, etc. However, availability of a single crystal diffractometer makes a difference in terms of the learning experience and opportunity to collaborate with chemists and biologists as well. CIAD has been awarded a diffractometer with a high-intensity microsource Cu-K$\alpha$, goniometer with kappa geometry, low temperature system and a CMOS detector. After several months of continuous operation, protein crystals have been diffracted up to 1.6 Å and more than a dozen small molecule structures have been determined. Graduate courses in structural biology (CIAD) and supramolecular chemistry (Universidad de Sonora) will benefit as practical session will be possible. In the near future, the throughput of new macromolecule structures will increase, either from in-house data collection or from optimized crystallization conditions proved to produce good diffracting crystals to be taken to the beamline. Moreover, the area of small molecule and crystal engineering will start as chemists and material scientists have the opportunity to characterize their materials. Therefore, availability of in-house diffraction does not compete with synchrotron data collection, but makes more focused and efficient the scarce beamline time available

Support is acknowledged from an infrastructure grant from CONACYT (México).

## Coffee break - (11:15-12:00)

## Thursday II - (12:00-14:00)

time [id] title

12:00 **[80] Theoretical Studies of the high-pressure ε and ζ phases of solid oxygen (00h30')**

*Presenter: Prof. RAMÍREZ SOLÍS, Alejandro (Departamento de Física, Centro de Investigación en Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos)*

We report systematic periodic DFT studies of the ε and ζ phases of solid oxygen between 10 and 140 GPa using several types of exchange-correlation functionals (LDA, GGA, hybrid, and meta-GGA). Enthalpy-driven geometry optimizations with spin-unpolarized periodic DFT are done to study the pressure evolution of the (O2)4 unit cell within the experimental C/2m crystal group. At variance with previous studies using GGA functionals and plane wave basis sets, our pressure-dependent structural and energetic results are in excellent agreement with the most refined experimental data when hybrid functionals are used in conjunction with optimized atomic basis sets. The purely enthalpic description is not enough to explain the relative stability of the phases, therefore phononic calculations for both phases are done at 100 GPa. We show that inclusion of entropic and ZPE vibrational effects are crucial to correctly predict the 95-100 GPa phase coexistence region at 298 K. Our results reproduce the discontinous behavior of the unit cell parameters around the phase transition as well as the evolution of the Raman and Infra-red spectra.

| | |
|---|---|
| 12:30 | **[85] Computing at the service of crystallography (00h30')**<br>*Presenter: Dr. FUENTES-MONTERO, Luis (Diamond Light Source)*<br>Diamond Light Source (DLS) is a synchrotron facility conceived for macromolecular crystallography (MX) and biopharmaceutical research as its main purpose. Modern MX experiments are generally implemented as variants of the crystal rotation method, using 2D detectors. 2D diffraction images corresponding to several angular positions are collected at a rate of one scan every five seconds. Each scan contains 180 to 720 images of 2463 x 2527 pixels. Before the next shoot, all these images need to be processed nearly in real time. To achieve this DLS has servers with automated parallelized software that are launched automatically with the experiment. When the user launches one diffraction scan, as soon as the experiment finishes the computer connected to the instrument sends a signal and transmits the data to the servers. The servers process the data in a few seconds and return the solved structure to the instrument's computer. In DLS, several software packages are developed to be used in combination with other third party programs to achieve a high level of automation. All software packages developed at DLS with scientific purpose are open source, as it is the best way to produce software by collaboration between academic institutions. The most remarkable software packages developed at DLS are: DAWN - to be used in the instrument as a front end to the user and as a visualization GUI tool; GDA - to connect DAWN with the instrument's firmware or prepackaged program coming with the instruments; DIALS - to process 2D diffraction images, among other third party integration software. Particularly, the DIALS project is a collaborative effort aimed to be "future proof", extensible and reusable package. DIALS is based and depends on the well known CCTBX package. DIALS is being packaged as a large module which is part of CCTBX and also as part of the CCP4 package. The aim of DIALS is not only to be an integration program, but also to be a framework and a toolkit useful for both, users and programmers for developing new algorithms for integrating 2D diffraction images. |
| 13:00 | **[90] Material Science, the industrial case in a synchrotron (00h30')**<br>*Presenter: Dr. HERNÁNDEZ CRUZ, Daniel (Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas)*<br>The use of synchrotron light can be extended from basic science to applied science. The high spectral and spatial resolution obtained from the different synchrotron based techniques is the advantage when studying materials, compared to conventional techniques. Therefore, industry can be beneficiated when applying them to study their products and improve processes, since molecular and atomic interaction can be observed and give insight into how a material is behaving. Here metals, alloys, glass, ceramics, composites, polymers, textiles, proteins, plants, can be studied at a nanoscale level, and observe their morphology, structure and composition. This can complement the results obtained by conventional instrumentation, which will turn into better understanding of the system under study and, its possible improvement. An overview of industrial applications of synchrotron techniques and two practical cases are given |
| 13:30 | **[84] PV solar cells performance using some synchrotron radiation characterization techniques (00h30')**<br>*Presenter: Dr. SERROUKH, Ibrahim (Center for Advanced Diffusion-Wave Technologies, Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto. M5S3GM)*<br>Solar Cells, particularly Photovoltaic (PV) based on thin film, monocrystal, polycristal still dominating the market and attract attentions from the scientific researchers. Making some new areas to grow; such electronics, sensors, biology and so forth. Since the cost of these research become cost effective, it starts to impact in the interested parties from the industry.<br>The key activities of such research is to improve the energy conversion of solar cells understanding the nanoscale properties of the material, especially in catalysis, storage, and solar cells, such Silicon and Carbon based materials. The physical, mechanical and chemical properties of the material are involved for performance of semiconductor device material.<br>In this work we focus our approach on three following points:<br>• First, we would like to show the potential of the state of the art of the Synchrotron Radiation beamline techniques and some knowledge and experience that could help to provide a better solution to the problem.<br>• Secondly, using this competitive and capacity research, the reliable results could be complementary or reference to validate some conventional laboratories measurement techniques considering the consistency. Lately, such concern try to contribute in solving the lack of reproducible scientific results.<br>• Thirdly, the work the Synchrotron Radiation techniques will contribute to reveal an insight structural and an electronics view of the PV solar cells device energy conversion. The technique shows the chemical bond and chemical state too in nanoscale structure, its element impurities identification and distribution related to electrical macroscopic scale characteristics of device behaviour, is a unique to solve the complexities of the problem. |

## Lunch - (14:00-16:00)

## Discussion Panel 2 - (16:00-17:30)

time [id] title

| | |
|---|---|
| 16:00 | **[34] Things to consider before building a beamline at a light source. (01h30')**<br>*Presenters: Dr. REICHERT, Harald (ESRF), Dr. SCHMITT, Thorsten (Paul Scherrer Institute), Dr. STOJANOFF, Vivian (Brookhaven National Laboratory)*<br>Moderator: Guadalupe de la Rosa |

## Posters II - (17:30-18:30)

| [id] title | board |
|---|---|
| **[42] Electronic structure of cathodes for Li-ion batteries, multi-ferroic materials and iridates investigated by soft X-ray spectroscopies. (01h00')**<br>*Presenter: Dr. OLALDE - VELASCO, PAUL (INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES - UNAM)*<br>Soft X-ray spectroscopies are nowadays established as primal tools for investigating the electronic and magnetic properties of all kind of materials. In this opportunity I will present three examples where X-ray absorption (XAS), emission (XES) and Resonant Inelastic X-ray Scattering (RIXS) in the soft X-ray regime helped to clarify and understand the electronic structure of Li2Mn2O4 (a cathode material for Li batteries), the family of YbFexMn(1-x)O3 (a possible multiferroic material) and iridates with (Sr2IrO4 and Bi2Ir2O7). In the case of Li2Mn2O4, the evolution of the oxidation states of Mn (2p-3d transitions) are followed and correlated with changes in the O K edge (1s-2p transitions) XAS spectra for different stages along the charge/discharge cycle of the Li battery. For YbFexMn(1-x)O3, changes in the electronic structure of the system as Mn content is varied are tracked for Fe, Mn and O in the L2,3 and K edges, respectively. Finally, similitudes and differences as reflected in the O K edge spectra for Sr2IrO4 and Bi2Ir2O7 iridates are presented. | |
| **[54] Programación mezclada en el procesamiento de datos sincrotrónicos (01h00')**<br>*Presenter: Mr. MARÍN ROMERO, Jose (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politecnico Nacional, Unidad Mérida)*<br>Los lenguajes de programación Python y Fortran están siendo ampliamente utilizados en el campo de la Cristalografía. Python tiene un gran auge en el área debido a que es dinámico y de fácil entendimiento, mientras que Fortran ha sido por excelencia el lenguaje más utilizado en Cristalografía. Es un lenguaje estable y eficiente para cálculos numéricos. Resulta complicado para quienes se inician en computación.<br>Por lo anterior, se buscan alternativas para que los programas sean mas flexibles con el usuario, sin sacrificar el rendimiento y eficacia en lenguajes de programación. Una opción es la combinación de ambos lenguajes.<br>En este trabajo desarrollamos una metodología utilizando la interfaz F2PY para combinar Python y Fortran convirtiéndoles en una herramienta flexible, potente y eficaz que permita la optimización de tiempo y recursos computacionales.<br>Se comparó el lenguaje de programación Python con la mezcla creada por F2PY de Python y Fortran, realizando operaciones matriciales simples a una matriz cuadrada de 1 millón de datos. Se graficó la función Z:R×R■R. Posteriormente se realizó un corte que se graficó (Figura 1). Se obtuvo una eficiencia significativamente mayor en la velocidad de procesamientos de datos con la combinación de los dos lenguajes de programación. Se trabaja en la implementación de la programación mezclada Python-Fortran en el Proyecto de actualización y ampliación del programa ANAELU, orientado a la manipulación y simulación de datos de difracción bidimensional obtenidos en un Sincrotrón. | |
| **[89] RIXS calculations in FeTe$_{1-x}$Se$_x$ system. (01h00')**<br>*Presenter: Mr. MULATO GÓMEZ, Diego Fernando (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional)*<br>We present calculations for resonant inelastic x-ray scattering RIXS in FeTe$_{1-x}$Se$_x$. We performed these calculations using a real space multiple scattering approach, which allows us to consider explicit compositional disorder. We approximate the RIXS spectra as a convolution between X-ray absorption (XAS) and X-ray emission (XES), using the ab-initio FEFF code. We can reproduce an experimentally observed change of hybridization, in the area of the pre-edge (XANES), between states d-Fe and p-Chalcogen (p-Se, p-Te). | |

**[55] Determination of impurities in the surface of giant crystals of Naica by Synchrotron Radiation. (01h00')**

*Presenters: Mr. CASTILLO SANDOVAL, Isai (Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.), Dr. MONTERO-CABRERA, Maria Elena (Centro de Investigación en Materiales Avanzados)*

Naica mine is located in the semi-desert region at the central-south of Chihuahua State, Mexico. The Giant Crystals Cave was discovered by accident in 2000 at Naica. This gallery has become world famous because of the size and purity of its selenite crystals [1]. This paper presents the use of synchrotron radiation phases identification in the crystal surface. All experiments were performed at Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL). The X-ray absorption techniques of micro X-ray fluorescence (μ-XRF) and micro near edge absorption (μ-XANES) were measured at the beamline (BL) 2-3. Grazing incidence X-ray diffraction (GIXRD) experiments were performed at beamline 11-3.The μ-XRF and μ-XANES spectra and distribution maps were analyzed and processed with the "SMAK" [2] and "SIXpack" [3] programs, respectively. The interpretation of 2-D patterns was performed with programs ANAELU [4] and Wxdiff [5].The phases found in the impurities on the surface of selenite crystals are summarized as follows: a) selenite, galena, sphalerite, hematite and cuprite. b) Elemental distributions and correlations (0.6-0.9) for Cu, K, Fe, Mn, Pb, Zn, Ca and S were identified by μ-XRF. The correlations among elemental contents confirmed the phase identification, with the exception of manganese and potassium due to the amorphous nature of some impurity compounds in these samples. c) Amorphous compounds were suggested by the μ-XANES results. Plausibly, the manganese and lead elements form their respective non-crystalline oxides.

[1]J.M. García-Ruiz et al., Chem. Soc. Rev., 2014, 43, (2013).
[2] S. M. Webb, AIP Conference Proceedings, 1365, 196-199 (2011)
[3] S. M. Webb, SixPACK software, Physica Scripta T115, 1011-1014 (2005)
[4] L. Fuentes-Montero et al., J. Applied Crystallography, 44, 241-246 (2011)
[5] S.C. Mannsfeld, WxDiff version 1.11 (http://code.google.com/p/wxdiff) SSRL, (2009)

**[56] Structural study of gypsum crystals at Naica by two-dimensional diffraction at Stanford Synchrotron. (01h00')**

*Presenters: Mr. CASTILLO SANDOVAL, Isai (Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.), Dr. FUENTES-COBAS, Luis E. (Centro de Investigación en Materiales Avanzados)*

Naica Mine is located 112 km southeast of the capital of Chihuahua, Mexico. The gypsum crystals of Naica are the most striking and motivating worldwide. This paper presents the use of synchrotron radiation for the structural study of gypsum crystals. The experiments were performed at the Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL). X-ray diffraction was used in reflection geometry with grazing incidence angle (GIXRD) and supported by X-ray transmission (TXR), both at beamline 11-3. Spectra processing was carried out by simulation with ANAELU [1, 2] program. 2D diffraction patterns obtained by GIXRD show a mosaic structure in the gypsum crystals. 2D diffraction patterns, obtained by TXR (Figure 1), show that gypsum has single crystal structure, and it is modified to a polycrystalline structure when approaching the impurities. Several phases were identified; however, the main one is hematite.

[1] L. Fuentes-Montero et al., Journal of Applied Crystallography, 44, 241-246. (2011)
[2] ANAELU software: http://cimav.edu.mx/investigacion/software/anaelu (2010)

**[60] COMPORTAMIENTO BIOGEOQUÍMICO DE PLOMO (Pb) Y CROMO (Cr) DE SUELOS DEL DISTRITO MINERO DE GUANAJUATO Y SU REMOCIÓN POR Acacia farnesiana (01h00')**

*Presenter: Mr. OCTAVIO, Rojas Páramo (UASLP-UAMZH)*

México es un país con abundantes recursos minerales, lo que ha marcado su tradición minera. Sin embargo, los residuos mineros o jales representan un riesgo potencial al medio, debido a que contienen elementos potencialmente tóxicos (EPT's) en altas concentraciones. El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento biogeoquímico del Pb y Cr en suelos y jales del distrito minero de Guanajuato y la remoción de estos elementos por Acacia farnesiana. Las muestras de suelo y jales fueron colectadas de la mina "Mineral La Aurora" en el municipio de Xichú. Se empleó un proceso de digestión ácida mediante un sistema de digestión de microondas(Multiwave ECO; Anton Paar), para realizar un análisis elemental por Espectroscopía de absorción atómica de flama (FAAS; Thermo Scientific ICE 3000 SERIES). Los resultados muestran un contenido de Cr y Pb respectivamente de 426 y 3258.6mg■kg-1, valores por encima de la normativa mexicana (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004). Los análisis fisicoquímicos muestran que el suelo del sitio es ligeramente ácido y en una vivienda cercana al sitio ligeramente alcalino; parámetros como el pH se relacionan directamente con la movilización de los metales, debido a las reacciones de hidrólisis de los cationes, provocando un aumento de la solubilidad y por tanto de la movilidad de los metales en condiciones ácidas y un deceso de la solubilidad en condiciones alcalinas. Además, se estudió el papel de una especie vegetal que crece en la zona afectada (Acacia farnesiana), con la finalidad de estudiar su posible uso en la fitorremediación del sitio de estudio. Para ello, se estableció un método para su cultivo in vitro que permitirá estudiar la fitotoxicidad así como su capacidad para la bioacumulación de Cr y Pb en los tejidos de la planta. Sin embargo, es necesario realizar estudios de especiación para determinar las formas químicas de estos elementos en las muestras ambientales. La movilización de estos elementos en el suelo y su interacción con las plantas depende de la forma química de los mismos. En este sentido proponemos el uso de las técnicas de Espectroscopia de Rayos X, que han sido empleadas para determinar la especiación de elementos en muestras ambientales, dilucidar los mecanismos de captación de estos elementos por las especies vegetales así como su distribución en los distintos tejidos de las plantas [1]. El Cr se encuentra en el ambiente generalmente como Cr (III) y Cr (VI), el primero posee menor movilidad y se encuentra formando precipitados, además de que es un micronutriente esencial para algunos organismos. Se ha demostrado por estas técnicas que algunas plantas son capaces de reducir el Cr (VI) a Cr (III) una vez que este penetra en los tejidos. El Cr (VI) es muy móvil y entra rápidamente en el cuerpo humano a través de la piel, inhalación e ingestión y es considerado como agente carcinogénico y mutagénico [2,3]. Es por ello que es de importancia determinar la especiación en las diferentes matrices ambientales, así como su interacción con organismos como las especies vegetales a fin de proponer estrategias de remediación adecuadas.

1. Sarret G., Pilon Smits E.A.H., Castillo M. H., Isaure M.P., Zhao F.J., Tappero R. 2013. Use of synchrotron –based techniques to elucidate metal uptake and metabolism in plants: Advances in agronomy, 119, 1st Edition, 1-86.
2. Wei Yu-Ling, Hsieh Huei-Fang, Yang Yao-Wen, Lee Jhy-Fu, Liang Wei-Shun, 2005, Molecular study of thermal inmovilization of chromium (VI) with clay: Air & waste manage, 55, 411-414.
3. Agency for Toxic substances and Disease Registry, 2012, Toxicological profile for chromium, ATSDR. http:/atsdr.crdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf

**[61] "Cuantificación de Elementos Potencialmente Tóxicos en especies vegetales de un sitio minero de Guanajuato: identificación de especies potencialmente fitorremediadoras" (01h00')**

*Presenter: Mrs. PONCE GIL, Elba Alejandra (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca)*

Las zonas de jales mineros son sitios impactados por Elementos Potencialmente Tóxicos (PTE) en donde comúnmente sucede la bioacumulación de metales por especies animales y vegetales. En este estudio se determinó el efecto del arsénico en el sistema radicular e hipocótilo (tallo) de plántulas de Acacia farnesiana L. Willd, comúnmente llamada huizache yóndiro, que crece en lugares cercanos de jales mineros localizados en Xichú, Guanajuato. Las semillas se recolectaron del sitio y fueron pretratadas para escarificación utilizando H2SO4 concentrado a 60 ºC durante 12 min, luego fueron lavadas con NaOH (0.1 M) y agua desionizada. Se colocaron 20 semillas de A. farnesiana en cajas de petri por triplicado sobre un papel filtro con 15 mL de As (V) a diferentes concentraciones: 0, 20, 40 y 80 ppm durante 7 días con 12 horas luz/oscuridad, 60 - 80% de humedad y 28 ± 2 ºC. Posterior a los 7 días a la exposición de As (V) como NaH2AsO4, se midió con un vernier la longitud de la raíz principal, desde el ápice de la radícula hasta el cuello de las plántulas, y se midió el hipocótilo desde el cuello hasta la salida de los cotiledones. Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y el método Tukey-Kramer HSD (Honestly Significant Difference) para determinar las diferencias entre los tratamientos ($p < 0.05$). Los resultados muestran que la germinación en todos los tratamientos fue superior al 90% y que a mayor concentración de As, menor es el crecimiento de raíz e hipocótilo. Este porcentaje elevado de germinación se le atribuye al proceso de escarificación que se utilizó, debido a la dureza de la semilla que le dificulta la absorción de agua. A su vez, se observa efecto estadísticamente significativo en el crecimiento de la raíz a partir de la concentración de 20 ppm de As con respecto al control, y diferencias significativas entre el control y la concentración de 40 ppm de As en la elongación del hipocótilo ($p < 0.05$). La disminución en el porcentaje de germinación, longitud de raíz y longitud de hipocótilo conforme aumentaban las concentraciones de As (V), se atribuye al aumento del estrés oxidativo de la planta y EROs (especies reactivas de oxígeno) en la célula vegetal produciendo apoptosis, daño al ADN, peroxidación lipídica, etc. provocando una disminución en la mitosis y posterior disminución en la elongación de raíz y tallo, así como un retardamiento en la germinación de las plántulas. A pesar de la serie de consecuencias fitotóxicas del As en A. farnesiana observadas durante este estudio, es reportada por diversos autores como una planta tolerante a metales, incluyendo el As. Con las técnicas de luz sincrotrón, se podría analizar esa interacción planta-metal desde la germinación en A. farnesiana a nivel de raíz y tallo, para posteriormente tener una estrategia adecuada en la fitorremediación de sitios contaminados con As.

**[62] DETERMINACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPTs) EN ESPECIES VEGETALES DE UN SITIO MINERO DE GUANAJUATO: IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES CON POTENCIAL FITORREMEDIADOR. (01h00')**

*Presenter: Ms. MAGDALENA YURIXHI, González (Universidad de Guanajuato)*

En México en el Estado de Guanajuato una actividad económica de alto impacto es la minería, dando como resultado que en este estado se encuentren varios sitios en los que hay depósitos de residuos de minas mejor conocido como "jales". De entre estos sitios se encuentran los jales de la mina "La Aurora" localizada en Xichú (figura 1), en este Municipio de Xichú al noreste de Guanajuato, las minas fueron abandonadas.
La mina La Aurora se utilizó para extraer principalmente Oro, Cobre y Plata, posteriormente Zinc y Plomo desde el siglo XVIII.

Previos Estudios en este sitio muestran la presencia de Especies Vegetales como la Acacia farnesiana L. Willd que se ha reportado tener tolerancia al arsénico y que acumula altas concentraciones de As y Zn.
Por lo anterior en esta zona se encuentran Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs) que pueden tener efectos nocivos para la flora, fauna y salud humana.
Por ello se realizó un muestreo en cuatro puntos representativos, además de la recolección manual de semillas del árbol de A. farnesiana mejor conocido como Huizache yóndiro, además de un estudio del efecto fitotóxico del Cr (VI) en la germinación y crecimiento del Huizache ya que el Cr lo podemos encontraren la naturaleza en tres formas como lo es Cr metálico, Cr (III) y Cr (VI), que este último es tóxico para la mayoría de los organismos, siendo el Cr (VI) altamente tóxico para las plantas, provoca clorosis generalizada, disminuye la síntesis de clorofila y como resultado afecta la fijación del CO2 y el metabolismo de carbohidratos (0.011 mg Cr(VI)1), causando un daño directo a nivel del ADN, que puede provocar daños genotóxicos e incluso la muerte celular en la planta. Por ello la finalidad del presente estudio al utilizar la especie vegetal de A. farnesiana es el de evaluar su posible utilización para fines de fitorremediación de Cr (VI), el cual también es un EPT que se encuentra en sitios contaminados del estado de Guanajuato, debido a la actividad curtidora, por lo cual las semillas fueron sometidas a diferentes tratamientos de Cr (VI) para evaluar cuál es su efecto sobre la germinación y determinar si es posible usarla como planta fitorremediadora. Se emplearon los siguientes tratamientos: 0, 20, 40 y 80 ppm de Cr (VI) como Na2Cr2O7.2H2O en un periodo de siete días de germinación, respetando ese tiempo se midió la longitud de la raíz y el tallo. Apoyados de un Software Estadístico se analizaron los resultados, observando que el Cr (VI) no inhibió el crecimiento y desarrollo de la planta en las concentraciones utilizadas en el estudio.

**[69] COMPUTATIONAL CRYSTALLOGRAPHY: PROGRAMS FOR ANALYZING BIDIMENSIONAL DIFFRACTION PATTERNS (01h00')**

*Presenter: Mrs. BURCIAGA-VALENCIA, Diana (estudiante doctorado)*

Bi-dimensional diffraction is a promising technique for structural analysis and so it shows its recent use growth. The obtained data is analyzed through computational tools like the program ANAELU (ANAlytical Emulator Laue Utility) to assist with the interpretation of X-ray diffraction patterns produced by textured samples. This program includes: structure representation, experimental bi-dimensional diffractogram analysis and diffraction patterns simulation. The project for the ANAELU program improvement includes: background modelling, experiment-model comparison and parameters manipulation; all the previous in order to upgrade it towards a Rietveld type quantitative bi-dimensional analysis. To deliver a better experience for the user, the new ANAELU has a complete new GUI (graphic user interface) programmed in wxPython, which is friendlier and more intuitive than before. This GUI born from the previous experience, making it more compatible with the current and future platforms, like Windows and the UNIX-like family. The present project is feasible through the use of mixed programming among compiled (FORTRAN 95/2003) and interpreted (wxPython) languages. Improvements in this matter have been achieved; regarding calculations, we can ensure greater portability, long term support and enhanced execution velocity (from 7 hours to 25 minutes in a specific example) with the use of the CrysFML library which allows us to take advantage of a highly efficient calculation process. Up to now the new GUI is able to read and compare two diffraction patterns, one calculated (like said before) and one experimental. The two images are linked to each other to improve the experience, allowing easier and faster comparison. The GUI also has the most common menus to open and save the files in several formats.

**[92] Elemental analysis of particulate matter PM10 by X-Ray Fluorescence (01h00')**

*Presenters: Prof. MORALES-LÓPEZ, Gladys (Universidad de Guanajuato), Dr. GUSTAVO, Cruz Jiménez (Universidad de Guanajuato)*

This study aimed to perform elemental analysis of filter samples the cities of Salamanca and Leon by X-Ray Fluorescence. In a previous study by Delgado [1], in which he characterized PST and PM10 from manual monitoring high volume of municipalities Villagran, Cortazar, Salamanca and Irapuato found elements such as C, O, Si, Na, S, K, Ni, Fe, Cu, Pb and Zn. The elemental analysis in samples of interest from manual monitoring of PM10 from the cities of Leon and Salamanca by X-Ray Fluorescence presence found V, Cr, Fe, Cu, As, Al, K, Ca, and Zn.

**[96] Estudio de las especies producto de la reacción de Cr VI y ácidos orgánicos (01h00')**

*Presenter: Dr. CHAVEZ-FLORES, David (Universidad Autonoma de Chihuahua)*

Las concentraciones elevadas de metales tóxicos en la dieta humana constituyen un peligro potencial para la salud a largo plazo. En general, las plantas representan una vía importante para el movimiento de elementos traza potencialmente tóxicos del suelo y agua a los seres humanos y animales en general. Los metales contaminantes a menudo se pueden acumular en cantidades considerables en los tejidos vegetales y en humanos hasta superar los niveles deseables. El cromo entre los metales pasados se encuentra principalmente en dos estados de oxidación: trivalente (Cr III) y hexavalente (Cr VI). Actualmente existen reportes indicando que el Cr III forma complejos orgánicos solubles en agua principalmente materiales orgánicos de fuentes naturales, provenientes del medio ambiente. En Japón, se estima que existe un 60% del cromo total disuelto en el mar como complejos orgánicos. En este trabajo de investigación se estudia la interacción estructural y el efecto reductor entre los ácidos acético, propanoico, butanoico, oxalico, cítrico, ascórbico y succínico, además de glutatión. Utilizando UVviz como técnica de análisis hemos encontrado una fuerte capacidad de reducción de Cr VI a Cr III con glutatión y acido cítrico. Actualmente y con la finalidad de determinar la cinéticas de reacción hemos desarrollado una metodología de HPLC de par iónico para evaluar la conversión de Cr VI a Cr III en las interacciones mencionadas y para colectar los productos de reducción con la finalidad de determinar su estructura química utilizando luz sincrotrón y así comprender los complejos metálicos acido-metal.

**[100] Determinación de la morfología lignocelulósica en el bagazo de caña de azúcar sometido a pretratamientos químicos y biológicos usando dispersión de rayos-x en ángulo pequeño (SAXS) (01h00')**

*Presenter: Mr. SANTANA-HERNÁNDEZ, Uriel (Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Zacatepec.)*

Cambios morfológicos en la biomasa lignocelulósica producida de bagazo de caña de azúcar fueron estudiados mediante dispersión de rayos-X en ángulo pequeño (SAXS) basada en radiación sincrotrón. Estos se determinaron después de que las fibras fueron sometidas a pretratamientos químicos de ácidos y bases fuertes, así como con el microorganismo Trametes versicolor. Perfiles 1D SAXS fueron obtenidos, ajustados y analizados a través del muy conocido Modelo Unificado,

I(q)= G_i e^(((-q^2 R_gi^2)/3))+B_i e^(((-q^2 R_(g(i-1))^2)/3))

donde i representa los niveles estructurales de una región de Guinier, Gi es el prefactor exponencial, Rg es el radio de giro, Bi es un prefactor constante específico al tipo de dispersión de ley de potencia Pi; y q es el vector de dispersión.

Los parámetros estructurales arriba indicados Rg y Pi, así como el parámetro fractal ds, fueron determinados para monitorear la degradación de la celulosa y de la estructura lignocelulósica. A nuestro conocimiento, este es uno de los primeros estudio que revela la perdida de cristalinidad asociada a los tratamientos ya indicados por esta técnica. Estos resultados pueden ser relacionados con la producción de bioetanol a partir de este desecho agroindustrial, pues la reducción de la cristalinidad en la celulosa es clave para su producción.

**[102] Dinámica de fotodisociación en fase gaseosa del éster Formiato de Etilo (HCOOCH2CH3) por Espectroscopia Translacional de Fotofragmentación basada en radiación sincrotrón VUV a 193 nm (01h00')**

*Presenter: Mr. DOMÍNGUEZ-FLORES, Orlando (Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Zacatepec.)*

En este estudio de dinámica de fotodisociación del éster Formiato de Etilo (HCOOCH2CH3) a 193 nm, se detectaron 10 fotofragmentos usando Espectroscopia Translacional de Fotofragmentación basada en radiación sincrotrón (VUV-PTS), en condiciones libre de colisiones. Estos fragmentos incluyen m/z=+45 (CH3CH2O y HCO2), m/z=+44 (CH3CHO, CH2CH2O y CO2), m/z=+30 (HCOH y CH2O), m/z=+29 (HCOH y CH3CH2) y m/z=+15 (CH3), asociados con cuatro canales de disociación primaria; así como también los productos m/z=+45 (CH3CH2O y HCO2) y m/z=+44 (CH3CHO) que se asocian a tres canales de disociación secundaria. Con VUV-PTS se colectaron espectrogramas de masas de Tiempo-de-Vuelo (TOF) para cada uno de los fragmentos presentes en las diversos rutas de disociación en ángulos de laboratorio de un rango θlab= 20° a 40°. Estos datos se simularon usando los programas PHOTRAN y ANALMAX, considerando las condiciones experimentales. Como resultado, se generaron distribuciones de probabilidad de liberación de energía translacional ( o ) para cada uno de los canales de disociación. Estos resultados permitieron determinar la presencia de diversos canales y especies, así como derivar datos termodinámicos relevantes a los sistemas de reacción bajo estudio, tales como calores de formación ( ) y energías de disociación ( ). Finalmente, se identificaron plenamente las disociaciones primarias CH3CH2O+HCO, CH3CHO+HCOH y HCO2+CH2CH3, así como las descomposiciones secundarias secuenciales CH3CH2O→CH3+CH2O, CH3CHO→CH3+HCO y HCO2→H+CO2. Estas descomposiciones han sido predichas en diversos trabajos teóricos y este trabajo provee la evidencia experimental necesaria para confirmarlas.

**[57] XANES study of Chromium-Rare-earth Zircons and Sheelites (01h00')**

*Presenter: Dr. MONTERO-CABRERA, Maria Elena (Centro de Investigación en Materiales Avanzados)*

The mixed oxide RCrO4 (R3+= Er and Y) crystallizes into a tetragonal zircon-type structure at ambient conditions. It is built from edges-sharing RO8 dodecahedra chains which are connected each other by CrO4 tetrahedra. Under high pressure conditions (50 kbar), scheelite polymorphs (S.G. I41/a) [1, 2] of RCrO4 were prepared from the corresponding zircon forms of RCrO4 (S.G. I41/amd). Chromium in these materials shows relative rare Cr5+ oxidation state. Bulk magnetic and specific heat measurements indicate the presence of antiferromagnetism with estimated Néel temperatures of 23 and 21 K respectively. However, the RCrO4-zircon type polymorphs show ferromagnetic behavior with Curie temperatures of 15 and 9 K. The differences in the magnetic behavior of both forms have been attributed to the changes found in the Cr-O-R superexchange pathway through which the magnetic interactions take place.
To contribute clarifying the mentioned behavior, XAFS measurements on Cr K-absorption edge were performed at Stanford Synchrotron Radiation Lightsource, at beamlines 2-3 and 4-3. The pre-edge feature in the XANES zone is markedly detected. The shift in the energy position between the pre-edge peak and the “shoulder” of the XANES region is about 5.5-6 eV, in agreement with reported data for Cr(V) oxidation state [3]. From the crystal structure reported by XRD, an ab initio modeling with FEFF8.4 code of XANES spectra has been performed and the density of states of ions was also obtained. The modeled spectra qualitatively reproduce the main features of the experimental ones.

**[113] Determinación Teórica y Experimental de las rutas de disociación de Metil Acrilato (CH2=CHCOOCH3) a 193 nm (01h00')**

*Presenter: Mr. QUIROZ-CARDOSO, Oscar (Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Zacatepec)*

Reportamos las rutas de disociación originadas durante la fotólisis a 193 nm de Metil Acrilato (CH2=CHCOOCH3, MA) usando VUV Espectroscopia Translacional de Fotofragmentación basada en radiación sincrotrón, y se ha iniciado su validación mediante cálculos perturbacionales MP2 y Hartree-Fock. Para esto, recolectamos Espectros de Masa de Tiempo de Vuelo (TOF-MS) de los fragmentos producidos a partir de la disociación del MA, en un intervalo de masa/carga (m/z)= +14 a +86, y en ángulos de laboratorio θlab= 20° a 50°. Los datos obtenidos TOF-MS se ajustaron por simulación con programas de convolución ad hoc, permitiendo así que se originaran diagramas de distribución de probabilidad de liberación de energía translacional. A través de estos diagramas se ha logrado el establecimiento de las principales rutas de disociación primarias y secundarias. Se identificó la presencia de los canales de disociación primaria (CH2CHCHO + HCOH, CH2CHCHO + CH2O, CH2CHCO + CH2OH/CH3O), secundaria (CH2CHCHO → CH2CH + HCO, CH2CHCHO → CH2CHCO + H) y de tres cuerpos (CH2O + CH2CH2 + CO, CH2CH2 + CO2 + CH2, CO2 + CH3 + CH2CH), así como datos termoquímicos relevantes a este sistema. Se ha iniciado la confirmación de los resultados experimentales con la proyección de una superficie de energía potencial para esta fotodisociación, y a la fecha se ha logrado obtener energías correlacionales, las energías del Punto Cero (ZPE) y la optimización geométrica de toda las especies detectadas.

## Thursday III - (18:30-19:45)

time [id] title

18:30 **[79] ARPES on High-Temperature Superconductors and Topological Materials (00h45')**

*Presenter: Dr. SHI, Ming (Paul Scherrer Institut, PSI), 5232 Villigen PSI, Switzerland)*

Synchrotron-based angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) has been proven to be a powerful tool for the investigation of electronic structure and excitations in solids. It probes the electronic states and single-particle spectral function in momentum-resolved manner. In this talk, after a brief introduction of ARPES facilities at Swiss Light Source in PSI, I will present some of our recent ARPES results on cuprate and iron-based high-temperature superconductors and on topological materials. For cuprates, I shall show how the underlying Fermi surface, the superconducting and pseudogaps evolute from a highly underdoped samples to overdoped ones. For pnictides, I will focus on the Fermi surface, the mass enhancement and high-resolution measurements of the superconducting gap, as a function of crystal momentum. For the topological materials, I will show the experimental realizations of the novel quantum phases, i.e. topological Kondo insulator and Weyl semimetal.

19:15 **[95] The evolution of ratite birds throughout biomineralization of carbonates followed by crystallographic methods using synchrotron radiation (00h30')**

*Presenter: Prof. MORENO-CARCAMO, ABEL (INSTIUTO DE QUÍMICA, UNAM)*

The biomineralization is the study of the formation, structure and properties of inorganic solids deposited in biological systems. Biomineralization is the process by which living organisms produce minerals. The processes of biomineralización have important consequences for evolution and environment. Their impact is recorded on the global scale and stretches far back in the history of life. One remarkable example is the formation of eggshells in birds. It is demonstrated that struthiocalcins present in the ostrich (Struthio camellus), dromaiocalcins (in Emu) or rheacalcins (in Rhea americana) eggshells matrix act as biosensors of calcite growth during eggshell formation.

In this talk, the crystal structures of struthiocalcin-1 (SCA-1) in two different crystal forms, as well as the structure of ovocleidin-17 (obtained by means of using synchrotron radiation) are shown. Scanning electron microscopy combined with Raman spectroscopy indicates that these intramineral proteins induce calcium carbonate precipitation, leading to the formation of a stable form of calcite in the mature eggshell. Additionally, it is shown how these intramineral proteins affected the growth of calcite crystals and how they induced their spherical-shape growing.

Finally, the implications of these intramineral proteins in the nucleation of calcite during the formation of eggshells in ratite birds are also discussed.

# Friday 14 August 2015

## Friday I - (09:00-11:15)

time [id] title

| | |
|---|---|
| 09:00 | **[107] Small Angle X-ray Scattering and VUV Photofragment Translational Spectroscopy for bioenergy purposes. (00h30')**<br>*Presenter: Dr. QUINTO-HERNÁNDEZ, Alfredo (Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Zacatepec Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec, Morelos, México, 62780)*<br>Bioenergy research is an active area recently incorporated to synchrotron technologies. In this talk we discuss for a general audience the capabilities of Small Angle X-rays Scattering (SAXS) and Photofragment Translational Spectroscopy (PTS) techniques, providing one example in each technique to illustrate some of their applications, with emphasis on bioenergy research. SAXS technique has been used to study the morphological changes of Cellulose I in the lignocellulosic biomass produced from sugarcane bagasse after treatments based on Trametes versicolor, and is compared to those using traditional strong acids and bases. Typically, chemical or biological treatments on byproducts of the agroindustry have been introduced for bioethanol production. On our second work, we detail VUV photoionization experiments of biodiesel fatty acid esters using Yuan T. Lee style photofragment translational machine and will provide new aspects of their chemical reaction dynamics, which is supported through MP2 and Hartree-Fock calculations. SAXS and PTS experiments both were carried out at the National Synchrotron Radiation Research Center (NSRRC) in Hsinchu, Taiwan – Republic of China. |
| 09:30 | **[106] MLS: Status of the conceptual design. (00h30')**<br>*Presenter: ANTILLÓN, Armando (ICF, UNAM)*<br>In this talk we make a brief review of new Synchrotron Light Sources as well as current planned upgrades to some of them. These trends are<br>considered for the Mexican Light Source for making the initial conceptual design from where we can move on. Some details on the design are<br>presented. |
| 10:00 | **[103] Uses of ultra short wavelength x-rays in life science (00h45')**<br>*Presenter: Dr. STOJANOFF, Vivian (Brookhaven National Laboratory)*<br>Ultra short X-ray wavelengths have been applied in the study of powder diffraction and medical imaging. Here we will discuss applications of high energy x-rays in the structure determination of macromolecules, and other synchrotron applications in life sciences. |
| 10:45 | **[110] The Mexican Morelos Synchrotron Light Project: Present Status (00h30')**<br>*Presenter: Dr. MORENO, Matías (Instituto de Física, UNAM)*<br>Synchrotron Light Sources (SLS) are medium to large size facilites that foster the modern development of multiple areas of knowledge, they also promote the scientific, technological and innovation development. The physical properties that make this possible are brilliance, broad spectrum, polarization, temporal pulsed structure and coherence. Among the fiftieen largest world economies Mexico is the only one that lack a SLS.<br><br>In the last year a project that studies the characteristics and viability of a Mexican Light Source has been developed wit the support of Conacyt and the Secretary of Innovation, Science and Technology of Morelos through a FOMIX project. Several federal and state institutions are involved UNAM (IFUNAM and ICFUNAM), UAM, CINVESTAV and the University of Guanajuato.<br><br>The main results of the work done until now are presented. |

## Coffee Break - (11:15-12:00)

## Friday II - (12:00-13:00)

time [id] title

| | |
|---|---|
| 12:00 | **[91] Perspectives on science communication about 'Mexican Synchrotron' during 2015, the International Year of Light. (00h45')**<br>*Presenter: Mr. QUIT, Ricardo (Consejo Nacional para el Entendimiento Público de la Ciencia)*<br>An overview about how we have prepare public understanding of science in Mexico since 2005 (international year of physics) through 2011 (international year of chemistry) and 2014 (international year of crystallography) until actual International Year of Light to achieve a better comprehension what about synchrotron as an Light Source and it's capabilities on science research over many interests on industry and its common life applications. Includes a Social Media proposal for standardization of hashtags and keywords to reinforce named interests. |
| 12:45 | **[108] RED TEMÁTICA USUARIOS DE LUZ SINCROTRÓN. (00h15')**<br>*Presenter: Dr. DE LA ROSA, Guadalupe (Universidad de Guanajuato)*<br>La Red Temática Usuarios de Luz Sincrotrón (RedTULS) pretende extender y difundir el uso de técnicas basadas en radiación sincrotrón para que la comunidad de usuarios en México crezca, y con ello se incremente la generación de productos de investigación y de desarrollo tecnológico que nos permita ser más competitivos a nivel mundial. REDTULS tendrá como objetivos promover el uso compartido de infraestructura propia de los usuarios, crear proyectos conjuntos que promuevan el uso de diversos sincrotrones en el mundo, apoyar y promover el proyecto de creación de un sincrotrón mexicano, fortalecer programas educativos que propicien el fortalecimiento de recursos humanos especializados en el área, promover el intercambio de conocimientos entre los usuarios, así como generar una fuerte vinculación con la industria. Presentamos datos estadísticos sobre esta comunidad de usuarios. |

## Asamblea - (13:00-14:00)

| time | [id] title |
|---|---|
| 13:00 | **[77] Asamblea de la Red Temática de Usuarios de Luz Sincrotrón (REDTULS). (01h00')** |

## Lunch - (14:00-16:00)

# México Hacia el Salto Tecnológico y Científico: Sincrotrón. Foro del Senado de la República

Armando Antillón Díaz
José I. Jiménez Mier y Terán
Brenda Valderrama Blanco
Tomás Viveros García
Guadalupe de la Rosa Álvarez
Matías Moreno Yntriago
Jorge Flores Valdés
Rafael Pérez Pascual
Rodolfo R. Leo Méndez



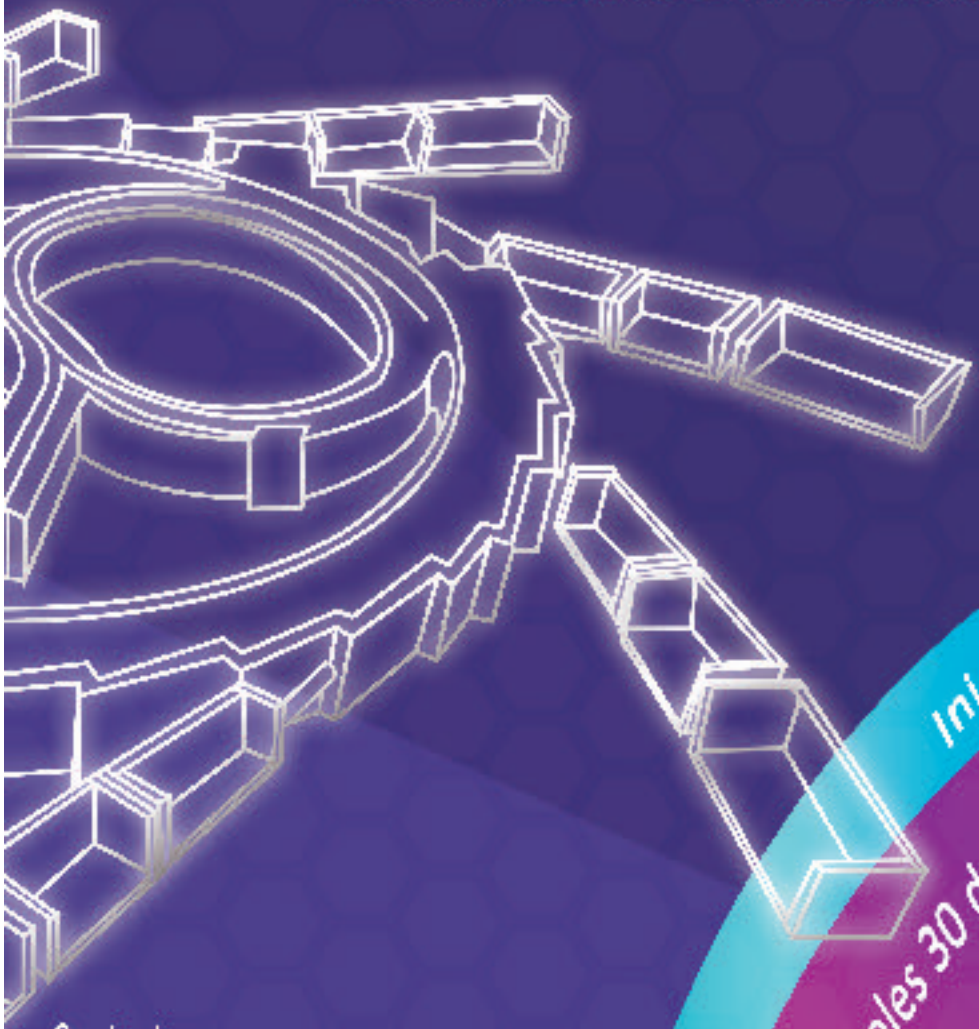
Octubre, 2015

Los Senadores:
Luz María Beristain Navarrete
Alejandro Tello Cristerna
Silvia Guadalupe Garza Galván
y Armando Ríos Piter

invitan a la Presentación de

# "México Hacia el Salto Tecnológico y Científico"

# SINCROTRÓN



Inicia 11:00 Hrs.

Miércoles 30 de Septiembre 2015

Sala de Comparecencias
Planta Baja


Contacto
Tel. 53453000, Exts.: 3144 / 5951,
sincrotron.senado@gmail.com

Senado de la República
Av. Paseo de la Reforma No. 135, Colonia Tabacalera,
Delegación Cuauhtémoc. C.P. 06030,México. D.F.

LOS SENADORES:

LUZ MARÍA BERISTAIN NAVARRETE, ALEJANDRO TELLO CRISTERNA, SILVIA GUADALUPE GARZA GALVÁN Y ARMANDOS RÍOS PITER.

CONVOCAN AL;

FORO: “MÉXICO HACIA EL SALTO TECNOLÓGICO Y CIENTÍFICO SINCROTRÓN.”

Fecha: 30 de septiembre de 2015.

Lugar: Sala de comparecencias, Planta Baja, Hemiciclo, Senado de la República.

I. Objetivo. Presentar el proyecto de construcción de una fuente de luz sincrotrón mexicana, destacando su impacto en el desarrollo tecnológico y científico de la nación.

II. Ejes temáticos.

1. ¿Qué es una Fuente de Luz Sincrotrón?
2. ¿Para qué sirve una Fuente de Luz Sincrotrón?
3. Beneficios que aporta al país una Fuente de Luz Sincrotrón
4. ¿Cómo hacer realidad en México una Fuente de Luz Sincrotrón?
5. ¿Cuál es la experiencia internacional en Fuentes de Luz Sincrotrón?
6. Plan de Desarrollo
7. El financiamiento de la Ciencia y la Tecnología
8. Proyectos nacionales de ciencia y tecnología ¿Cómo se construyen e implementan

III. Dinámica de las ponencias.

1. Cada ponente contará con hasta 10 minutos para llevar a cabo su presentación.
2. Al término de cada ponencia, se procederá al apartado de preguntas y respuestas, exclusivas a la previa participación.
3. Al final de todas las ponencias se abrirá el apartado de la discusión general.

| Horario | Actividad |
|---|---|
| 10:30 a 11:00 | REGISTRO |
| 11:00 a 11:15 | Inauguración |
| | |
| 11:15 a 11:30 | Tema 1. ¿Qué es una Fuente de Luz Sincrotrón? |
| | Ponente. Dr. Armando Antillón.<br>Institución: Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, Facultad de Ciencias UAE-Morelos |
| 11:30 a 11:45 | Tema 2. ¿Para qué sirve una Fuente de Luz Sincrotrón? |
| | Ponente. Dr. José Jiménez Mier y Terán<br>Institución: Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM |
| 11:45 a 12:00 | Tema 3. Beneficios que aporta al país una Fuente de Luz Sincrotrón |
| | Ponente. Dra. Brenda Valderrama.<br>Institución: Secretaría de Innovación Ciencia y Tecnología de Morelos |
| 12:00 a 12:15 | Tema 4. ¿Cómo hacer realidad en México una Fuente de Luz Sincrotrón? |
| | Ponente. Dr. Tomás Viveros.<br>Institución: Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa |
| 12:15 a 12:30 | Tema 5. ¿Cuál es la experiencia internacional en Fuentes de Luz Sincrotrón? |
| | Ponente. Dra. Guadalupe de la Rosa<br>Institución: Universidad de Guanajuato |
| 12:30 a 12:45 | Tema 6. Plan de Desarrollo |
| | Ponente. Dr. Matías Moreno<br>Institución: Instituto de Física, UNAM |
| 12:45 a 13:00 | Tema 7. El financiamiento de la Ciencia y la Tecnología |
| | Ponente. Dr. Jorge Flores<br>Institución: Consejo Consultivo de Ciencias |
| 13:15 a 13:30 | Tema 8. Proyectos nacionales de ciencia y tecnología ¿Cómo se construyen e implementan? |
| | Ponente. Dr. Rafael Pérez Pascual<br>Institución: Instituto de Física, UNAM |
| 13:30 14:00 | Discusión General |
| 14:00 | Clausura |
| Conduce la sesión el Dr. Manuel Torres, Director del IFUNAM. | |

**Bienvenida.....1**

Senadora Luz Ma. Beristain Navarrete. 1

Senador Alejandro Tello Cristerna. 3

Senador Juan Carlos Romero Hicks. 5

Senador Zoé Robledo Aburto. 7

Senador Javier Corral Jurado. 9

**¿Qué es una Fuente de Luz Sincrotrón?.....11**

Armando Antillón. ICF-UNAM. 11

**¿Para Qué Sirve la Luz de Sincrotrón? .....19**

José I. Jiménez Mier y Terán. Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. 19

*I. Introducción* *19*

*II. ¿Por Qué es Tan Útil la Luz de Sincrotrón?* *20*

*III. Vida y Salud.* *20*

*IV. Nuevos Materiales.* *21*

*V. Catálisis y Energía.* *22*

*VI. Patrimonio Histórico y Cultural.* *22*

*VII. Cómputo de Alto Rendimiento.* *23*

*VIII. Panorama General.* *23*

**Beneficios Sociales y Económicos del Proyecto del Sincrotrón Mexicano:...25**

**La Experiencia Daresbury. .....25**

Brenda Valderrama Blanco. Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado de Morelos. 25

*¿CÓMO SE BENEFICIARÍA MÉXICO CON UNA FUENTE DE LUZ SINCROTRÓN?* *25*

*¿QUÉ PAÍSES TIENEN UN SINCROTRÓN?* *26*

*ÁREAS DE APLICACIÓN* *26*

*¿ESTÁ MÉXICO PREPARADO PARA UN SINCROTRÓN?* *28*

*LA EXPERIENCIA DARESBURY* *28*

*¿CÓMO IMPULSA UN SINCROTRÓN LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL?* *29*

*¿POR QUÉ CONSTRUIR EL PRIMER SINCROTRÓN MEXICANO EN MORELOS?* *30*

**¿Cómo Hacer Realidad en México una Fuente de Luz Sincrotrón? .....33**

Tomás Viveros García. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. 33

*Introducción.* *33*

*Antecedentes.* *33*

*Elementos de Oportunidad y Colaboración.* *34*
*Financiamiento* *34*
*Sobre los Usos del Sincrotrón* *36*
*Resumen.* *37*

**¿Cuál es la Experiencia Internacional en Fuentes de Luz Sincrotrón?.....39**

Guadalupe de la Rosa. Universidad de Guanajuato. 39
*Experiencias Internacionales Diversas.* *40*
*DIAMOND (Reino Unido, 2002)* *40*
*ALBA (España, 2010)* *40*
*Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL; USA, 1992)* *40*
*European Synchrotron Radiation Facility. (Francia, 1994)* *40*
*Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón. (Brasil, 1997).* *41*
*SESAME. (Jordania)* *41*
*Cooperación Científica y Tecnológica.* *41*
*Otros Aspectos de Relevancia Internacional.* *42*
*Premios Nobel* *42*
*Industria* *42*
*Piensa global, actúa local* *42*
*Conclusiones.* *42*

**Plan de Desarrollo para la Fuente de Luz Sincrotrón Mexicana. .....43**

Matías Moreno. Instituto de Física, UNAM. 43
*Temas.* *43*
*Duración del Proyecto.* *43*
*Financiamiento y Gestión.* *45*

**El Financiamiento de la Ciencia y la Tecnología. .....49**

Jorge Flores. Instituto de Física, UNAM. 49

**Proyectos Nacionales de Ciencia y Tecnología, ¿Cómo se Construyen e Implementan? .....51**

Rafael Pérez Pascual. Instituto de Física, UNAM. 51

**Clausura.....55**

Senadora Luz Ma. Beristain Navarrete. 55

# Bienvenida.

## Senadora Luz Ma. Beristain Navarrete.

Hoy 30 de octubre de 2015 le damos la bienvenida a toda la distinguida audiencia que hoy nos acompaña a todas las muy distinguidas personalidades que están aquí con nosotros en el presidium. Tanto a los científicos, a los investigadores, a los promotores de este evento como a los queridos compañeros senadores. El senador Alejandro Tello que es el presidente de la comisión de ciencia y tecnología del senado de la república. Al senador Sofío Ramírez, senador por el estado de Guerrero. A nuestro compañero presidente de la comisión de educación, el senador Juan Carlos Romero Hicks. Muchas gracias por estar aquí. Al senador por Zacatecas que es el senador David Monreal. Gracias a Brenda que es nuestra secretaria de innovación del Estado de Morelos. Muchas gracias por estar aquí. La Dr. Guadalupe de la Rosa, el Dr. Tomás Viveros, el Dr. José Jiménez Mier y Terán, el Dr. Jorge Flores, el Dr. Manuel Torres, el Dr. Rafael Pérez Pascual, nuestro amigo el Dr. Armando Antillón y el Dr. Matías Moreno. Contamos también con maestro Oscar Montes de Oca que es el subprocurador de averiguaciones previas de la Ciudad de México. Muchas gracias por estar aquí presente. El senado de la República el día de hoy se viste de gala

El primer paso de una ruta que México ya no puede esperar más para transitar, la ruta de la modernización tecnológica. México requiere dar ese gran salto para estar a la vanguardia, para generar el progreso y la evolución que se necesita en este país, y me enorgullece que hoy en el senado de la República siendo conscientes de los trabajos que realizan estos maravillosos e ilustres mexicanos que han dado su vida por este proyecto y que han invertido muchísimas horas de estudio, de análisis de investigación para generar lo que tanto anhelamos en este país que dejen de fugarse los cerebros, que permanezcan en este país y que toda su sabiduría y su conocimiento sea para beneficio de las y los mexicanos. Hoy el senado de la república se viste de gala porque tenemos aquí a los mejores hombres que en este país están trabajando para que nosotros podamos entrar a esa era de la modernización, de la innovación, de los mayores y mejores descubrimientos científicos para redundar en beneficio para todos nuestros representados, para todo el pueblo de México. Una vez habiendo agradecido la presencia de mis compañeros senadores presentes, de los invitados especiales, desde luego de los medios de comunicación y de los asistentes en general a este llamado por el desarrollo tecnológico y científico de nuestro país; deseo comentarles que este foro se abordará y explicará al proyecto sincrotrón, como todos ustedes conocen, con la finalidad de que nuestro país cuente con uno.

El sincrotrón es un laboratorio científico el cual es un acelerador de partículas que generan luz capaz de analizar materia y sus propiedades a niveles extraordinarios con aplicaciones en diversas áreas e industrias como la farmacéutica o el energético. En otras palabras, el sincrotrón, es una especie de súper microscopio que nos permitirá obtener información de la naturaleza a nivel atómico. Cabe destacar que el Estado de Morelos, hoy representado aquí por Brenda y por varios como el Dr. Antillón y la maestra Leticia Navarrete que es parte también importante de este proyecto promoviendo siempre que desde Morelos salgan siempre estas excelentes noticias para México. De verdad les agradezco a todos los invitados del Estado de Morelos que están hoy aquí por estar promoviendo este gran invento. Cabe destacar como les decía que el estado de Morelos se perfila como sede del sincrotrón mexicano, el cual requiere una fuerte inversión. Pero valdrá la pena para acelerar el desarrollo científico y tecnológico de nuestro país. Estamos hablando de entre quince y diez mil millones de pesos de inversión, contemplando aproximadamente diez años

de construcción y treinta años de operación, una cifra que a largo plazo podría hacer de México un país que destaque por su Innovación en tecnología. Que dejemos de procesar cosas que ya no le sirven a otro sino que salga de aquí de México que es el discurso que siempre se ha tenido pero que pocas veces se aterriza en la realidad. Llegar a este lugar es una decisión que debe impulsar los tres poderes de gobierno para beneficio de todo el país.

En conclusión. Construir un sincrotrón sería una apuesta por la innovación y el avance científico mexicanos, porque creemos que es la única forma en que nuestro país de el salto de maquilador a desarrollador. Parece fácil, pero es cosa grande. Generaría que México entrara a otra era de crecimiento económico. Sería generar un modelo económico de desarrollo mucho más versátil que en el que hemos vivido siempre, consumiendo tecnología que a otros ya no les está funcionando.

A continuación, quiero ceder el uso de la palabra a mi compañero senador Alejandro Tello Cristerna, presidente de esta comisión y posteriormente a mis demás compañeros y antes de dejar micrófono hago votos porque esta reunión sea muy fructífera y de aquí empiece la gran noticia que todos anhelamos: que la apuesta del gobierno de México es por la vanguardia, por el progreso, por la innovación, por el avance tecnológico. Es lo que más anhelo, que este foro sea el inicio de los frutos que se requieren para coronar los esfuerzos de todos ustedes que han trabajado por tantos años en este experimento científico. Espero y hago votos porque de aquí salga la gran noticia que México va a invertirle y va a apostarle al desarrollo.

Gracias.

## Senador Alejandro Tello Cristerna.

Muy buenos días tengan todos ustedes.

Con el permiso de las personalidades del mundo de la ciencia y la investigación que nos acompañan hoy aquí, en el presidium, y mis compañeros legisladores Zoé, Luz María, David y Juan Carlos, muchas gracias. Sean todos bienvenidos a esta su casa el senado de la república. Es para nosotros un honor albergar este foro. Razones para construir un sincrotrón. Desde hace tiempo Brenda Valderrama del Consejo de Ciencia y Tecnología de Morelos ha venido planteándonos este tema y hoy no soy yo quien les diga qué es o como funciona, no trataré de explicárselos porque realmente vengo a este foro a tratar de entenderlo. Es un tema no del todo sencillo pero que sabemos que a final de cuentas trae nuevos alcances, beneficios y usos para nuestro país.

Tenemos que estar a la par con otros países del mundo y ahorita yo leía en este documento que nos daban que México es el único de los quince países con mayor PIB que no tiene un Sincrotrón y con ésto podemos abrir un campo muy importante en la investigación y desarrollos en salud, en alimentos, en energía, en medio ambiente. Entonces para nosotros como comisión de ciencia y tecnología, realmente es un tema importante. Sabemos que es un tema también difícil que representa, como muy bien lo dijiste Luz María, un cambio de visión de país. Hay muchos recursos aquí por invertir y somos una de las partes, el poder legislativo. Tenemos que tener la voluntad del ejecutivo y la academia, todos ustedes, los expertos, para poder trabajar todos en un mismo sentido y lograr ésto tan anhelado.

Yo simplemente los felicito, les doy la bienvenida y que sea de provecho todo lo que aquí se exponga, que realmente sea el inicio, Brenda, de un esfuerzo que tu ya tienes tiempo haciendo en este tenor y que vayamos caminando, sabes que en la comisión de ciencia y tecnología y no sólo del senado, también de la Cámara de Diputados, has encontrado eco a todas tus demandas y que junto con la comunidad científica y tecnológica vamos a caminar y al ver capitalizado muy pronto este tema.

Sean todos bienvenidos y muchísimas gracias.

## Senador Juan Carlos Romero Hicks.

Muy buen día. Gracias y bienvenidos a la casa del federalismo, al Senado de la República.

Desde hace años ustedes han soñado y se dice que el sueño es la esperanza de la persona despierta y aquí hay un gran ejemplo de perseverancia de las universidades y de los centros de investigación. Este proyecto que tiene un sentido estratégico y un gran sentido transversal para poder potenciar mejores realidades de vida. Combina la posibilidad de que el país pueda tener una mejor cadena virtuosa de innovación, ciencia, tecnología y educación. Que combine para la ciencia libre y para ciencia dirigida, y particularmente para que podamos entrar de manera más plena a la economía del conocimiento.

Nuestro país tiene luces y sombras y en esas sombras tiene varios pendientes. Por eso celebro el hecho de que nuestra compañera Luz María Beristain, de que Alejandro Tello quien preside la comisión de ciencia y los demás colegas que estamos aquí podamos acompañar este proceso.

México lleva prisa y tiene que tomar atajos y tiene que aprender de lo que otros países han podido desarrollar de la mejor manera posible. Por eso el día de hoy felicito a Brenda, a los investigadores, aquí tenemos desde el Consejo Consultivo de Ciencias, grandes investigadores, premios nacionales. Porque México tiene que estar ala vanguardia para que ese conocimiento nos de mejores condiciones de bien ser y de bienestar, y que por otra lado, cuide el tema de la ética, porque la ciencia sin conciencia es un tema perdido. ¿Ciencia para qué? La ciencia no como una entelequia. La tecnología e innovación al servicio de los que hoy viven en este país. Casi ciento veinte millones de habitantes que esperan de su comunidad académica preguntas y respuestas a las realidades cotidianas para poder tener resultados, resultados y más resultados.

Bienvenidos a la casa del federalismo.

## Senador Zoé Robledo Aburto.

Muchísimas gracias y muy buenos días a todas y a todos.

Antes que nada, reiterar la bienvenida al Senado de la República a todos los científicos que hoy nos acompañan y que sepan que este senado sin duda ha intentado acercarse a otras áreas del conocimiento, a salir del caparazón legislativo partidista político que muchas veces es percibido como el único trabajo que se desarrolla en este senado. Y lo hemos intentado hacer sin duda a espacios como éste, a escucharlos, pero también a otras áreas que me parece son relevantes para el país como lo es la cultura.

Yo soy un convencido de que no hay peor error que puede cometer un estado o una nación que dejar de invertir sus recursos en ciencia y en cultura porque lo que no se invierte en un año, en un lustro, en una década, no se recupera posteriormente. Hay otros espacios sin duda en donde el estado mexicano sigue teniendo deudas, en infraestructura social básica, en la infraestructura que conecta a las ciudades y los pueblos del país. Pero esas deudas cuando se saldan no tienen este efecto de perdida. Qué sentido tiene la inversión en ciencia y en cultura que son vistos siempre como el último espacio de atención y el primero del recorte. Creo que tenemos que tener claro eso.

Yo siempre he, como chiapaneco y además con otra compañera peninsular maya, pues que nuestros ancestros hacen lo correcto. Por supuesto que se dedicaban también a la guerra, también al gobierno, a la religión pero también con la misma importancia se dedicaban a observar el cielo, se dedicaban a la ciencia, se dedicaban al arte, a la cultura, a las expresiones máximas de la expresión humana. En este sentido de verdad que cuando la senadora Beristain, dentro del grupo parlamentario del PRD, nos compartió que iba a realizar este foro, yo quise venir a felicitarla y a felicitarlos a todos ustedes y que este evento, este lugar, este momento sea la semilla de la cual surja un árbol de enormes ramas que cubra a las generaciones y les de frutos a las próximas generaciones de mexicanos del futuro.

Muchas gracias y muy buenos días a todos.

## Senador Javier Corral Jurado.

Realmente es para expresar una disculpa. Yo ahora estoy programado para participar en la comparecencia del Secretario de Educación Pública. Pero no quiero irme sin rápidamente expresar una idea que por supuesto me atrevo a expresarla después de escuchar al presidente de la comisión de ciencia y tecnología del senado decir que finalmente le entendió, porque eso me quitó la carga, estaba muy abrumado desde que Armando Antillón me invitó para participar acá. Abruma siempre el mundo de la ciencia porque la ciencia a veces como los del mundo del derecho, actúan de manera muy cuadrada en términos comunicacionales. Yo no pude antes de venir aquí informarme del tema. Pero de entrada, el primer saque por decirlo, le coloca a uno una carga de decir, ¿De qué se trata?, ¿Cómo entenderlo?.

El sincrotrón tiene tres retos. No solamente uno de carácter presupuestal. Yo ni siquiera me atrevo a preguntar aquí de que inversión se trata. Porque luego todo mundo se despresuriza. Es un reto presupuestario por supuesto, pero es también un reto comunicacional. Yo creo que el principal reto es comunicacional, de un concepto tan importante, con tal variedad de aplicaciones en términos de tantas facetas y atención de necesidades. Y es un problema. Es un reto comunicacional fundamentalmente para la política, porque los legisladores han perdido la costumbre, yo no se si alguna vez la tuvieron, de investigar, de adentrarse en los documentos, de interiorizarse en los conceptos. Entonces hay que poner las cosas como muy de “a, b, c” para que el planteamiento sea un planteamiento que sea fácilmente comprensible. ¿Por qué? Porque ahora estamos discutiendo el presupuesto cero. Entonces un planteamiento como éste, dice, “A ver, ¿de qué trata ésto? por favor no estén bromeando cuando están pensando en bajarle el presupuesto a las universidades públicas” Entonces, hay un reto comunicacional y es un reto político.

Crear un grupo de trabajo que entienda, comprenda, como funciona el congreso. Cómo se mueven los temas y los intereses en el congreso y cómo los temas deben ser transversales como éste, a partidos, a bancadas y a las dos cámaras. Éste es un tema para la cámara de los diputados, en principio. Pero está muy bien planteado que venga primero al Senado. Porque el Senado que es una cámara más reposada, o eso es lo que nosotros decimos, el Senado sí puede ser un animador y sí puede ser un facilitador de abrir espacios, foros, audiencias, de hacer una cadena, ¿de qué? de cabildeo legislativo!

Los científicos en un salto tecnológico y de infraestructura como lo que significa ésto tienen que asumir que hay que hacer cabildeo político Es cabildeo político, es presión política y es reto comunicacional.

Entonces yo tengo ahora que irme pues no van a pensar que voy a dejar pasar a Nuño en esta comparecencia. Me gustaría incluso preguntarle al secretario de educación si conoce este proyecto, por donde podemos empezar a crear un encuentro. No puedo decir ahora más. Estoy muy contento. Ya me puse el botón. Me encantan los colores. Bueno, parece que está todo, ¿no?. Parece incluso símbolo gay o una cosa así. Es muy incluyente.

Los felicito. Me tengo que ir. Gracias.

# ¿Qué es una Fuente de Luz Sincrotrón?

**Armando Antillón.** ICF-UNAM.

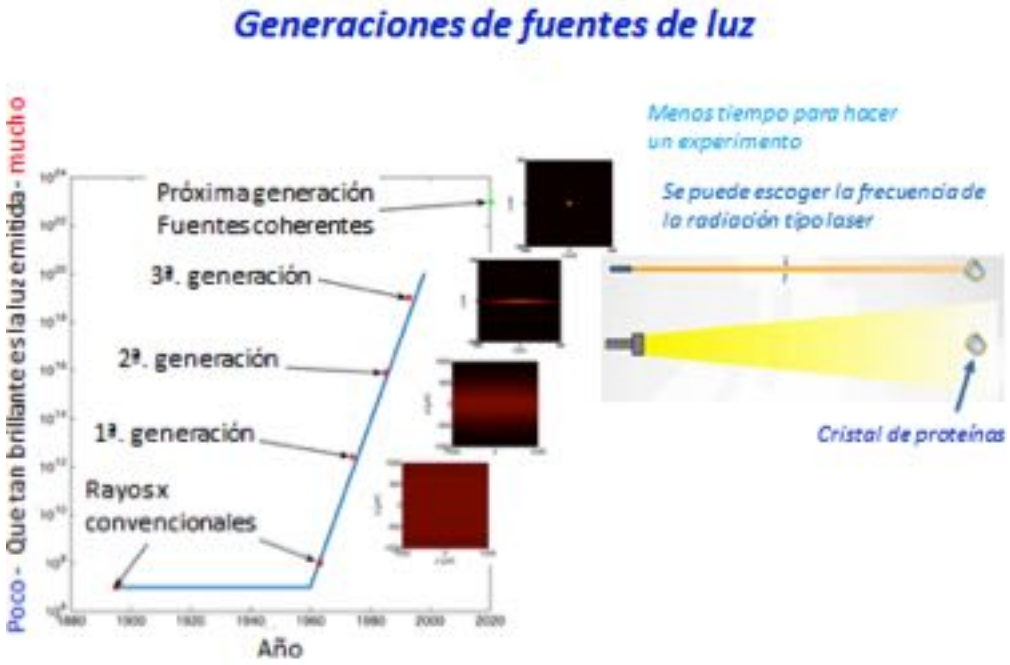
Primeramente quiero expresar nuestro agradecimiento a los integrantes de este Recinto Legislativo por permitirnos presentar este proyecto de una fuente de luz nacional que considero es un gran proyecto para México. Especialmente agradecemos a los Senadores Luz María Beristain Navarrete, Alejandro Tello, Silvia Guadalupe Garza y Armando Ríos Piter por convocar a este Foro abriendo así las puertas del Senado para iniciar una discusión sobre los grandes beneficios que nuestro país obtendría con su construcción.

Todos nosotros hemos estado expuestos a la radiación electromagnética. Parte de esta radiación es producida por estaciones de radio. ¿Cómo es que esta radiación se produce? En forma simple lo que sucede es que los electrones son acelerados en forma vertical generando ondas de radio, radiación electromagnética que llega a nuestros hogares y nos permite escuchar música. Este es un caso en que electrones emiten energía por estar sujetos a fuerzas que los hacen mover arriba-abajo.

Sin embargo la radiación emitida por estos electrones a una determinada frecuencia, sucede en una pequeña parte de lo que se conoce como espectro electromagnético Las ondas de radio son de baja frecuencia. Hay otras frecuencias que se usan para telefonía celular. Las microondas también son parte de este espectro así como el infrarrojo. Hay una región muy estrecha que nuestro organismo utiliza para ver y arriba de esta zona se encuentra la radiación ultravioleta y más arriba, los rayos x que son de una frecuencia alta y pequeña longitud de onda. Para ver un objeto en general se requiere que la longitud de onda usada sea menor que él.

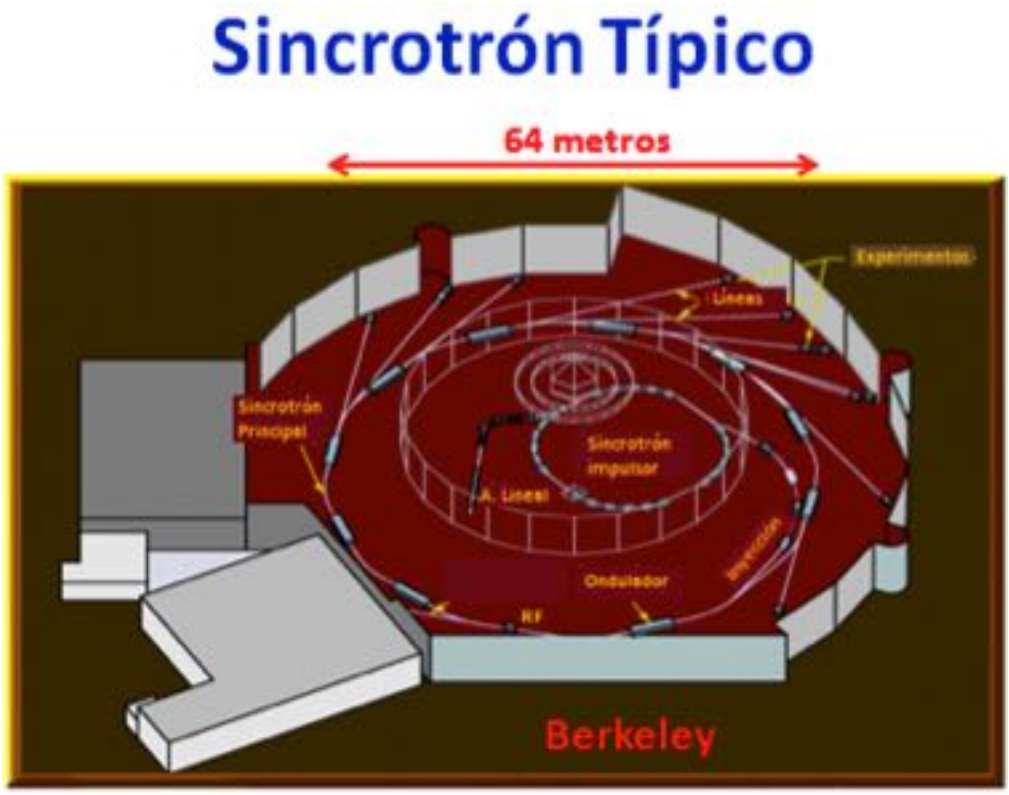
Las fuentes de luz sincrotrón son capaces de generar radiación que va del infrarrojo a rayos x, incluyendo todas las frecuencias intermedias. Con los primeros podemos ver la estructura molecular y con los últimos dónde se encuentran los átomos.

Además, la radiación generada tiene características especiales como ser millones de veces más brillante que el sol, ser emitida en pulsos muy cortos, ser polarizada, ser un láser y en cada uno de las decenas de experimentos que se realizan simultáneamente se puede escoger el o los colores necesarios.




Esta figura muestra cómo la intensidad de las fuentes de luz sincrotrón ha crecido en forma exponencial en los últimos años. No se incluye la última generación que tiene muy pocas instalaciones en el mundo y en donde cada experimento cuesta 10 veces más. Cada fuente de luz que se construye trata de hacer más pequeño el paquete de electrones para que el haz de luz emitido esté más confinado, como un láser de rayos x, y así que más paquetes de luz lleguen por ejemplo a un cristal de una proteína que se desea estudiar y se podrá hacer en unos cuantos segundos en lugar de horas o días.

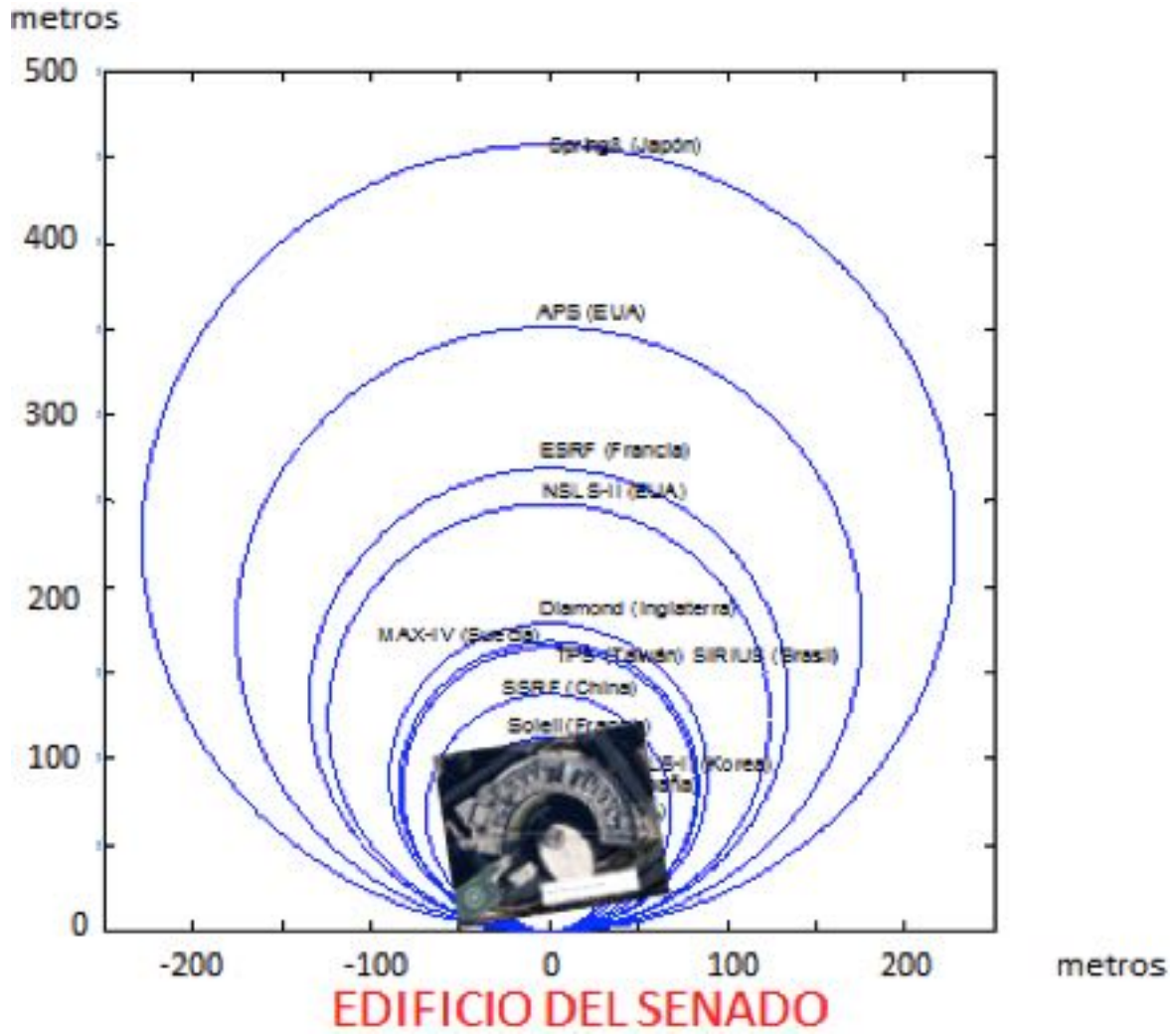
Ahora vamos a ver rápidamente como se produce la luz de sincrotrón en un ondulador que es un dispositivo presente en las fuentes de luz. Antes de llegar al dispositivo de imanes periódicos, los paquetes de millones de electrones han sido ya acelerados hasta alcanzar velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Su trayectoria circular cruzará por estos dispositivos y los campos magnéticos alternados harán que oscilen. Al igual que en la antena de radio, se emitirá radiación, ésta vez será en un cono estrecho hacia adelante. La luz producida se hace llegar a los laboratorios experimentales llamadas líneas de luz, donde existen aparatos sofisticados que permiten a los investigadores utilizarla para estudiar las propiedades de los materiales, formando una simbiosis entre evolución de los instrumentos y evolución del conocimiento.




Aquí mostramos un esquema típico de un sincrotrón, tiene un par de aceleradores de partículas que aceleran los electrones a una velocidad alta y después los inyecta a lo que se conoce como anillo principal donde los electrones giran produciendo haces de luz que salen de forma tangente al círculo pasando por un hueco en un muro de concreto de un metro de espesor y se conduce a los experimentos que están en la parte externa del círculo.

La información obtenida en experimentos llevados a cabo en fuentes de luz de sincrotrón, a menudo no se puede obtener de otra manera. Una fuente de luz sincrotrón puede tener 60 o más de estas líneas experimentales, todas operando simultáneamente. Una instalación puede albergar un gran número de grupos de investigación, llevando a cabo diferentes experimentos al mismo tiempo.

Por lo general, las fuentes de luz sincrotrón son muy confiables y operan las 24 horas al día, siete días a la semana, y sólo se detiene su funcionamiento  para mantenimiento y actualizaciones.
Esta máquina típica está replicada quizá 60 veces en todo el mundo.




Ahora mostramos los tamaños comparativos de las últimas fuentes de luz en funcionamiento y en proceso de construcción en varios países. Para tener una idea de sus dimensiones ponemos de referencia este hermoso edificio donde ahora nos encontramos que tiene un diámetro de cerca de cien metros.

En las fuentes de luz de gran tamaño es necesario que la estructura del edificio cubra únicamente el anillo por donde circulan los electrones y la parte de laboratorios a su alrededor. Haremos un viaje relámpago por los sincrotrones de mayor tamaño empezando por Japón. El Sping8 tiene un diámetro de alrededor de cuatrocientos sesenta metros.

Continuamos con APS cerca de Chicago, con trescientos cincuenta metros de diámetro.

El Sincrotrón Europeo, en Francia tiene doscientos setenta metros.

El NSLS-II en Nueva York, doscientos cuarenta y ocho.

Diamond en Inglaterra, ciento setenta y nueve.

Todos los sincrotrones anteriores están funcionando. En Max-IV en Suecia, recientemente se ha visto ya la luz de sincrotrón, representando un alivio para sus diseñadores y para la comunidad internacional del área porque su diseño incorpora tecnologías innovadoras en aceleradores que serán de gran utilidad en nuestro proyecto.

TPS en Taiwán, la nueva fuente de luz, se terminó en este año y debe estar ya funcionando.

Sirius, la segunda fuente de luz de Brasil está en proceso de construcción.

Y finalmente paramos este recorrido con la fuente de luz china, SSRF. Ese país tiene bajo proyecto construir otra fuente de luz en Pekín.

El grupo de personas interesadas en este proyecto ha organizado tres talleres relacionados con el área de diseño. En pláticas ahí establecidas con expertos internacionales de Estados Unidos, Inglaterra y España surge la idea de que nuestro sincrotrón debería tener un diámetro alrededor de cien metros para que una vez construido tenga una vida útil en la frontera de la ciencia y la tecnología por al menos dos o tres décadas, con las implementaciones adecuadas.

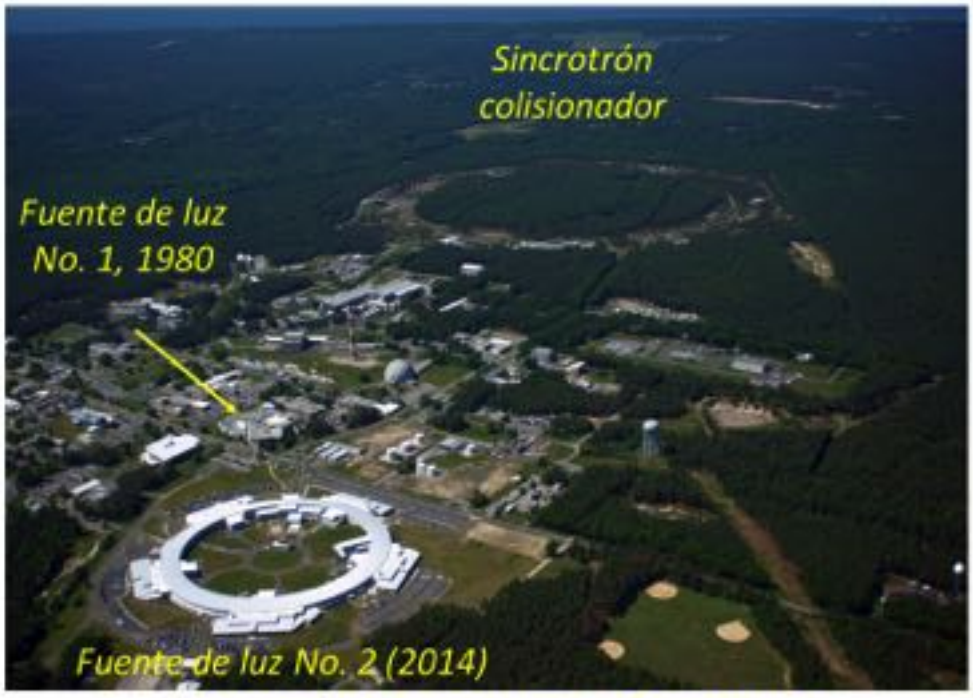
Las fuentes de luz guardan en su interior equipo altamente sofisticado y celosamente tratado para que el conjunto trabaje en óptimas condiciones. Una vista interna se puede apreciar en esta fotografía, donde los muros de concreto evitan que los rayos X lleguen a las 60 módulos alrededor del anillo donde se realizan los experimentos.

La ingeniería civil involucrada en la construcción de estas instalaciones se enfrenta a retos especiales. En el túnel por donde circulan los electrones dentro de cientos de imanes la temperatura debe ser constante y no debe cambiar más de unas décimas de grado, mientras que fuera de éste la tolerancia es de un grado. Las vibraciones que el ruido ordinario produce en el suelo, como ruido vehicular o fábricas cercanas, pueden hacer que el haz de electrones se desplace del punto apropiado por donde debe cruzar los imanes y en consecuencia no habrá más

luz de sincrotrón. Para evitar eso es necesario poner una cama de materiales absorbentes de vibraciones. Sobre ella se pone una plancha de concreto de más de un metro de grosor que si se mueve deberá hacerlo como una sola pieza sin deformarse. El edificio de forma de dona que cubre esta sección, no debe tener contacto con esta plancha.

La ingeniería mecánica de la fabricación de imanes también tiene retos debido a que la tolerancia de su maquinado es pequeña. Cientos de imanes que producen campos magnéticos de alta precisión forman el anillo principal del sincrotrón. El haz de electrones pasa a través del centro de cada imán, donde campos magnéticos dirigen las partículas en una trayectoria casi circular al mismo tiempo que las mantienen juntas.

Así como estos retos de ingeniería que hemos mencionado, existen muchos otros donde se requiere hacer uso de tecnologías de punta para lograr construir una buena fuente de luz.
La utilidad de un sincrotrón es más amplia que sólo generar luz. En la prensa a veces se ha confundido este proyecto con un acelerador colisionador de partículas, usado por la comunidad científica de altas energías para investigar la estructura de la naturaleza a dimensiones más pequeñas que los núcleos de los átomos.




La fotografía es del Laboratorio Nacional de Brookhaven; en ella se señala la primera fuente de luz que estuvo en funcionamiento por más de 30 años hasta que es remplazada por la nueva que empezó a operar el año pasado. En la parte superior se encuentra el sincrotrón colisionador donde se hacen chocar de frente iones pesados de oro contra oro, produciendo materia nuclear en un estado que el universo tuvo en los primeros momentos de su creación.

Colisionadores y fuentes de luz buscan objetivos diferentes y así deben ser optimizados para prometer competitividad en su área, satisfaciendo en el primer caso las necesidades de la comunidad de altas energías, mientras que en el segundo se satisfacen las necesidades de un amplio sector de áreas científicas que en fuentes maduras, demandan dos veces más tiempo para hacer experimentos que el concedido.

Señoras Senadoras y Señores Senadores, Distinguidos Invitados; ojalá que con esta breve presentación y con los argumentos que mis colegas expondrán en seguida podamos convencerlos de hacer suyo el Proyecto de una Fuente de Luz de Sincrotrón.

Estamos trabajando en este proyecto de muchos retos y de largo plazo, conscientes de que si se construye, el beneficio será para otras generaciones de mexicanos que harán que el futuro de nuestro país sea más brillante.

Muchas gracias por su atención.

# ¿Para Qué Sirve la Luz de Sincrotrón?

**José I. Jiménez Mier y Terán.** Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

## I. Introducción

México es un gran país que también tiene grandes problemas. La ciencia puede contribuir de manera significativa en la solución de esos problemas. En particular, la ciencia que se hace en las fuentes de luz de sincrotrón ha dado, y seguirá dando, información muy útil para la solución de algunos de esos grandes problemas. Algunas áreas en las que las luz de sincrotrón ha tenido un impacto muy importante son en estudios ambientales, en el estudio de las moléculas de la vida, en es la producción de nuevos materiales con aplicaciones novedosas, en estudios que permiten generar y aprovechar de maneras más eficientes los recursos energéticos.

Ejemplos que hacen evidente este impacto positivo de la luz de sincrotrón abundan. En esta plática se presentarán algunos casos en los que se muestra que hay trabajo realizado por investigadores que trabajan en México, y que tiene un importante impacto en diversas áreas de la ciencia y el desarrollo tecnológico. Algo que conviene señalar desde el principio es que el acceso a cualquiera de las líneas de haz en cualquiera de los sincrotrones del mundo se consigue sometiendo proyectos de investigación a revisión por parte de pares. El hecho mismo de que investigadores mexicanos consiguen que se les asignen tiempos de haz en sincrotrones es, por tanto, un indicador claro de la calidad del trabajo que realizan. Conviene decir que las fuentes de luz de sincrotrón en el mundo no cobran el valor comercial de su tiempo para trabajo realizado por investigadores de universidades y centros académicos. Sin embargo el investigador o su institución deben poder cubrir los gastos de transporte y alojamiento de todos los participantes en cada experimento. Otro inconveniente de realizar experimentos en fuentes de luz fuera de México es que las muestras que se van a estudiar, que a veces son el producto de meses o años de preparación minuciosa, pueden ser dañadas o extraviadas cuando se envían al extranjero. Por otra parte, para investigaciones de patente o de uso comerciales el costo para utilizar una fuente de luz en cualquier parte del mundo es muy elevado.

También es importante señalar que el autor de esta revisión tuvo que hacer una selección de los ejemplos, lo que necesariamente lo obligó a dejar fuera muchos otros casos igual de importantes. Se trata de un conjunto de muestras de la calidad del trabajo que se puede hacer en el País y que, a juicio del autor, justifica plenamente el que estemos proponiendo la construcción en México de una fuente de luz de sincrotrón. Es importante también señalar que los autores de los trabajos que se presentarán son todos integrantes de la Red Temática de Usuarios de Luz Sincrotrón (REDTULS) de CONACyT.

Por último, es conveniente aclarar que el autor de esta presentación es usuario de luz sincrotrónica en física del estado sólido, en particular, el estudio de materiales altamente correlacionados. Por tanto no es experto en las otras áreas. La presentación no puede mostrar detalles y por tanto no refleja en toda su plenitud la importancia de cada uno de los ejemplos.

# II. ¿Por Qué es Tan Útil la Luz de Sincrotrón?

La parte del espectro electromagnético que más se usa de una fuente de luz sincrotrónica son los rayos x. También hay aplicaciones importantes de la luz que se produce en el infrarrojo, pero no serán cubiertas en esta presentación.

Los rayos x son ondas electromagnéticas de tamaño (longitud de onda) muy pequeño y de energía mayor que la de la luz visible. Estas dos propiedades hacen que los rayos x sean especialmente útiles para estudiar a las cosas. Tenemos la experiencia directa del uso de rayos x cuando vamos al médico o al dentista. Sabemos que con rayos x podemos ver el interior de cosas, por ejemplo los huesos en el cuerpo. Esto se debe a que los átomos en los tejidos absorben de manera diferente los rayos x. Los átomos ligeros (C, O, N) absorben poco los rayos x, mientras que los átomos más pesados (calcio) son buenos absorbedores. Los rayos x atraviesan el tejido blando y se detienen en el hueso y por eso el doctor puede sacar radiografías.

En un sincrotrón se puede seleccionar la energía de los fotones de rayos x que se utilizan en un experimento. Por ello podemos utilizar los rayos x que son absorbidos de manera preferente por el elemento de la tabla periódica que nos interesa estudiar. Además, los rayos x que se producen en un sincrotrón son muy brillantes, por lo que pueden ser enfocados en puntos muy pequeños. Entonces, con los rayos x de un sincrotrón se pueden tomar “micro- radiografías” en las que se selecciona el elemento que nos interesa observar. Esto se puede hacer en gases, en líquidos o en sólidos. También se puede hacer al momento en que ocurre una reacción química. Los rayos x permiten ver de manera muy detallada los procesos de transformación de la materia.

El que sean ondas muy pequeñas les da otra utilidad a los rayos x. Con ellos se pueden “ver” objetos pequeños, del tamaño de la longitud de onda. Estos objetos son los átomos. Entonces, con los rayos x podemos ver dónde se localizan los átomos en una molécula o en un cristal.

Estas propiedades de los rayos x son las que convierten a la luz de sincrotrón en una herramienta indispensable en investigación y desarrollo en las ciencias de la vida y la salud, en el diseño y la fabricación de nuevos materiales, en catálisis y energía y en el estudio y la preservación del patrimonio cultural. A continuación se presentan algunos ejemplos.

# III. Vida y Salud.

a) Contaminación del medio ambiente.

La luz sincrotrónica es una herramienta especialmente útil para detectar la presencia de contaminantes en suelos. Esto tiene especial importancia, por ejemplo, en suelos contaminados por la actividad minera. Investigadores del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) de Chihuahua emplean rayos x de un sincrotrón para determinar la presencia de uranio en la tierra [1]. La luz de sincrotrón permite estudiar los depósitos a nivel microscópico, además de que se puede identificar el estado de valencia (grado de oxidación) de estos elementos. El efecto tóxico de estos contaminantes está directamente relacionado con su estado de valencia.

Por otra parte, expertos de la Universidad de Guanajuato emplean los rayos x de un sincrotrón para estudiar la absorción y la transformación de nanopartículas tóxicas de óxido de cerio o zinc en plantas de soya [2]. Determinaron que puede haber efectos genotóxicos importantes debidos a cerio, pero que no ocurre lo mismo con zinc.

Otro grupo de investigadores de la Universidad de Guanajuato realizó estudios para determinar puntos de acumulación de oro en plantas [3]. Demostraron que se pueden agregar agentes químicos que propician la fitoextracción de oro en plantas.

Se ha establecido una relación entre biopelículas de hongos de la especie candida y la recurrencia de enfermedades adquiridas en hospitales. Investigadores de Jalisco, Guanajuato

y Durango propusieron el uso de luz de sincrotrón para observar la estructura de las proteínas del hongo in vivo [4]. La luz de sincrotrón ayudará a detectar las moléculas que se generan mientras se desarrolla la biopelícula. Con estos resultados se podrán diseñar estrategias que permitan reducir significativamente la formación de biopelículas en los instrumentos que se emplean en los hospitales.

b) Moléculas de interés biológico.

Uno de los descubrimientos científicos más importantes del siglo 20 fue la determinación de la estructura en forma de hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN). Los rayos x de fuente convencional fueron la herramienta empleada en estos estudios. A partir de la utilización de los rayos x de sincrotrón el número de estructuras de moléculas importantes para la vida que han sido descifradas ha crecido de manera muy importante.

Para estos estudios se necesita que las moléculas se cristalicen. Expertos del Instituto de Química de la UNAM han contribuido de manera destacada al estudio de los procesos de fabricación de cristales con moléculas de interés biológico [5].

De igual manera, hay que considerar que en estos estudios se expone a las moléculas a rayos x de alta intensidad. Esos rayos x también generan daños en el cristal y en las moléculas. Investigadores del Instituto de Biotecnología de la UNAM participaron en un estudio para determinar las dosis a las que se pueden someter los cristales de proteínas sin que los resultados de los experimentos se vean afectados por el daño causado por la radiación [6].

Entender la estructura de moléculas biológicas complejas también permite entender los cambios que ocurren ya sea durante el metabolismo normal o por exposición a sustancias tóxicas. Investigadores mexicanos han participado en este tipo de estudios de gran relevancia en los que se identifican sitios específicos en el ADN que son susceptibles de sufrir mutaciones por el ataque de agentes químicos también bien identificados [7].

Este tipo de trabajo, realizado recientemente en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo de Sonora, podría ayudar a diseñar una estrategia antiviral para prevenir enfermedades en camarones [8]

# IV. Nuevos Materiales.

Entender la estructura de los materiales es el primer paso para entender y modificar sus propiedades y así optimizar su utilización. Es muy frecuente diseñar materiales para funciones específicas. La capacidad de los rayos x de sincrotrón de identificar la estructura espacial y la composición de los materiales los convierte en herramientas indispensables en el estudio de los materiales.

Un experto de la Universidad del Papaloapan en Oaxaca participó en experimentos en los que se produjeron y caracterizaron compuestos nuevos con metales pesados y nitrógeno con mecanismos de síntesis novedosos que además son accesibles [9]. Estos nuevos materiales tienen propiedades (dureza, resistencia a corrosión) que los hacen particularmente útiles.

Una característica común en los nuevos materiales que se diseñan y sintetizan para que tengan las propiedades específicas es que son muy inhomogéneos. Cuando se estudia la posición de sus átomos con rayos x se observan variaciones importantes en todo el material. Un investigador del CINVESTAV Mérida es un reconocido experto en el estudio de estos materiales complejos empleando luz sincrotrónica [10].

El estudio de las propiedades de los materiales tiene muchas aplicaciones directas. Un sector que se beneficia de estas investigaciones es el de la construcción. Poder diseñar y producir materiales de construcción con mejores propiedades beneficia directamente a la sociedad al contar con una mejor infraestructura. Afortunadamente en México hay una tradición importante en este campo. Entre los usuarios de luz de sincrotrón del País hay un experto en emplear rayos x para

caracterizar a los cementos. Este investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas tiene un estudio muy interesante sobre las mejoras que se consiguen en las propiedades del cemento al momento de agregar fibras epóxicas en su preparación [11].

# V. Catálisis y Energía.

Las transformaciones químicas son un motor importante en la sociedad contemporánea. Los catalizadores nos han permitido controlar la dirección en la que ocurren esas reacciones químicas. Son compuestos que pueden hacer más eficiente el proceso, o pueden encargarse de conseguir eliminar los residuos tóxicos. Un proceso importante en el que se hace investigación es la combustión de monóxido de carbono, en el que se le hace reaccionar con oxígeno para transformarlo en bióxido de carbono, que no es venenoso. Los metales preciosos (oro, platino) han sido tradicionalmente usados como catalizadores con este propósito. Es necesario estudiar los mecanismos de fabricación y las propiedades de los catalizadores con el objetivo de optimizar su desempeño. Un experto del Instituto Tecnológico de Celaya investigó dos procesos de fabricación de catalizadores de oro depositados sobre óxido de hierro [12]. Con rayos x de un sincrotrón pudo demostrar que el estado de oxidación del oro juega un papel muy importante en la combustión de monóxido de carbono. Pudo así distinguir cuál de los procesos de fabricación da como resultado un catalizador más eficiente.

Las baterías de Litio se encuentran en nuestra vida diaria tan integradas que pasan desapercibidas. Se les puede encontrar en dispositivos electrónicos y en algunos vehículos eléctricos. Para extender su uso se requiere atender problemas de costo, eficiencia, seguridad, potencia, capacidad específica y tiempo de vida entre otros. Por tanto es necesario entender su funcionamiento, para ello se han empleado técnicas capaces de monitorear cambios estructurales (rayos X-duros, microscopías electrónicas, etc.) pero no de monitorear la dinámica electrónica ni de iones. Con rayos -X blandos es posible estudiar los estados electrónicos de los iones y materiales constituyentes de las baterías en el ánodo y cátodo (formados de C, metales, Li, etc.) incluso durante la operación de las baterías en tiempo real. Con ello se buscan obtener baterías más eficientes, rentables y seguras. Un investigador del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM ha participado en experimentos para caracterizar los estados de oxidación de los electrodos de baterías de litio en pleno proceso de carga o descarga [13].

La química verde propone inventar, diseñar y aplicar productos y procesos químicos para reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas. Como parte de este esfuerzo se emplean biomateriales para generar energía. Un grupo de investigación del Instituto Tecnológico de Zacatepec, dirigido por un joven investigador, cuenta con destacados trabajos en el estudio de biomateriales con luz de sincrotrón [14]. En experimentos con luz ultravioleta han estudiado la dinámica de descomposición del biodiesel. Con rayos x estudian también los efectos de procesos de preparación del bagazo de caña de azúcar para producir etanol. Un punto que vale la pena destacar es que realizan esos experimentos en el sincrotrón de Taiwán.

# VI. Patrimonio Histórico y Cultural.

México es un país con una gran riqueza en su patrimonio cultural. Las propiedades de los rayos x de un sincrotrón también son útiles para estudiar objetos de nuestro patrimonio. El Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural, con sede en el Instituto de Física de la UNAM, cuenta con amplia infraestructura para realizar estos estudios. Parte de los estudios de ese Laboratorio se realizan en fuentes de luz de sincrotrón. Por ejemplo, se pueden estudiar muestras de la joyería encontrada en el cenote sagrado en el sitio arqueológico de Chichén Itzá [15]. El mismo grupo también ha estudiado fósiles atrapados en

ámbar de Simojovel, Chiapas [16]. Con luz de sincrotrón pudieron estudiar los compuestos de azufre presentes en los insectos, sin necesidad de extraerlos. Los rayos x permitieron estudiar estos fósiles tal y cómo se preservaron en el ámbar.

# VII. Cómputo de Alto Rendimiento.

Los experimentos que se hacen con luz sincrotrónica son cada vez más sofisticados, y producen voluminosos conjuntos de datos. Es muy importante contar con computadoras y programas que permitan procesar toda esta información de manera muy eficiente. Investigadores del Centro de Investigación de Materiales de Chihuahua son expertos en el desarrollo y la aplicación de programas para el análisis de resultados de experimentos con rayos x para obtener las posiciones de los átomos en compuestos de interés [17].

# VIII. Panorama General.

Los casos seleccionados son de trascendencia para la solución de problemas importantes de la ciencia y del País. Los investigadores involucrados se encuentran trabajando en distintas instituciones de educación, investigación y desarrollo tecnológico de México. También ilustran que estos investigadores, cada uno en su área de especialidad, hacen uso eficiente e innovador de distintas técnicas asociadas al uso de la luz de sincrotrón.

Los investigadores o grupos de investigadores cubren una amplia geografía de México: Sonora, Chihuahua, Durango, Jalisco, Guanajuato, Distrito Federal, Morelos, Oaxaca, Chiapas y Yucatán. Las áreas de especialidad también son diversas: se muestran trabajos hechos por físicos, químicos, biólogos y científicos de materiales.

Otro elemento común de los ejemplos escogidos, además del uso de la luz de sincrotrón, es que para el análisis y la interpretación correcta de los resultados se emplearon, en mayor o menor medida, importantes recursos de cómputo. Se incluye también un ejemplo de las contribuciones hechas por investigadores de México en el área de programación intensiva para el análisis de los datos obtenidos en experimentos con luz sincrotrónica.

Después de esta breve presentación cabe hacerse la siguiente pregunta: Si como usuarios hemos logrado muy buenos resultados ¿qué será cuando tengamos el Sincrotrón Mexicano?

Referencias:

[1] D. Burciaga-Valencia, C. Méndez, H. Esparza-Ponce, A. Beesley, M. Crespo, L. Fuentes-Cobas, L. Fuentes-Montero y M. Montero-Cabrera, Revista Mexicana de Física, vol. S 57, pp. 21-29, 2011.

[2] M. López-Moreno, G. de la Rosa, J. Hertnández-Viezcas, H. Castillo-Michel, C. Botez, J. Peralta-Videa y J. Gardea-Torresdey, Environ. Sci. Technol., vol. 44, pp. 7315-7320, 2010.

[3] J. Gardea-Torresdey, E. Rodríguez, J. Parsons, J. Peralta-Videa, G. Meitzner y G. Cruz-Jiménez, Anal. Bioanal. Chem., vol. 382, pp. 347-352, 2005.

[4] M. Cuéllar-Cruz, E. López-Romero, J. Villaqgómez-Castro y E. Ruiz-Baca,
Future Microbiol., vol. 7, pp. 755-771, 2012.

[5] G. Gil-Alvaradejo, R. Ruiz-Arellano, C. Owen, A. Rodríguez-Romero, E. Rudiño-Piñera, M. Antwi, V. Stojanoff y A. Moreno, Cryst. Growth Des., vol. 11, pp. 3917-3922, 2011.

[6] R. Owen, E. Rudiño-Piñera y E. Garman, PNAS, vol. 103, pp. 4912-4917, 2006.

[7] L. Brieba, B. Eichman, R. Kokoska, S. Doublié, T. Kunkel y T. Ellenberger, The EMBO Journal, vol. 23, pp. 3452-3461, 2004.

[8] J. Carrasco-Miranda, A. López-Zavala, A. Arvizu-Flores, K. García-Orozco, V. Stojanoff, E. Rudiño-Piñera, L. Brieba y R. Sotelo-Mundo, PLOS ONE, vol. 9, p. e94369, 2014.
[9] A. Friedrich, B. Winkler, L. Bayarjargal, W. Morgenroth, E. Juárez-Arellano, V. Milman, K. Refson, M. Kunz y K. Chen, Phys. Rev. Lett., vol. 105, p. 085504, 2010.
[10] M. Acosta-Alejandro, J. Mustre de León, M. Medarde, P. Lacorre, K. Konder y P. Montano, Phys. Rev. B, vol. 77, p. 085107, 2008.
[11] D. Hernández-Cruz, C. Hargis, S. Bae, P. Itty, C. Meral, J. Dominowski, M. Radler, D. Kilcoyne y P. Monteiro, Cements & Concrete Composites, vol. 48, pp. 9-18, 2014.
[12] G. Hutchings, M. Hall, A. Carley, P. Landon, B. Solsona, C. Kiely, A. Herzing, M. Makkee, J. Moulijn, A. Overweg, J. Fierro-González, J. Guzmán y B. Gates, Journal of Catalysis, vol. 242, pp. 71-81, 2006.
[13] R. Quiao, Y. Wang, P. Olalde-Velasco, H. Li, Y.-S. Hu y W. Yang, Journal of Power Sources, vol. 273, pp. 1120-1126, 2015.
[14] A. Quinto-Hernández, Y. Lee, T. Huang, W. Pan, R. Mata y A. Wodtke, J. Phys. Chem. Lett., vol. 2, pp. 2311-2315, 2011.
[15] B. Cockrell, J. Ruvalcaba Sil y E. Ortíz Díaz, Archaeometry, 2014.
[16] F. Riquelme, P. Northrup, J. L. Ruvalcaba-Sil, V. Stojanoff, D. P. Siddons, J. Alvarado-Ortega, Appl. Phys. A, vol. 116, pp. 97–109, 2014.
[17] L. Fuentes-Montero, M. Montero-Cabrera y L. Fuentes-Cobas, J. Appl. Cryst., vol. 44, pp. 241-246, 2011.

# Beneficios Sociales y Económicos del Proyecto del Sincrotrón Mexicano: La Experiencia Daresbury.

**Brenda Valderrama Blanco.** Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado de Morelos.

Un Sincrotrón es una instalación estratégica del más alto nivel y la información que ahí se genera se considera de vital importancia para la competitividad de un país. La construcción y puesta en operación de una fuente de Luz de Sincrotrón sería el proyecto científico de mayor envergadura que se ha propuesto en México con impacto en la generación de conocimiento, la formación de recursos humanos especializados, la difusión de los resultados y logros, la vinculación con la sociedad y con el sector productivo así como en la creación de empresas de base tecnológica de clase mundial.

## ¿CÓMO SE BENEFICIARÍA MÉXICO CON UNA FUENTE DE LUZ SINCROTRÓN?

La existencia de una Fuente de Luz Sincrotrón en México aceleraría el desarrollo científico y tecnológico de nuestro país. Actualmente, los más de doscientos usuarios de Luz Sincrotrón mexicanos tienen que desplazarse a otros países para llevar a cabo sus experimentos. Esto no solamente eleva el costo de las investigaciones sino que, al tener que traspasar fronteras, los materiales a analizar sufren daños irreversibles y en ocasiones el costo de la pérdida es invaluable.

Aún más, tanto el diseño de los experimentos como la información que se genera de estas investigaciones debe ser compartida con los investigadores del país visitado, por lo se carece de confidencialidad. Desde la perspectiva de sectores vitales como el energético o el de salud, esta falta de soberanía reduce el margen de actuación del Estado.

En el área de salud pública, el poseer una Fuente de Luz Sincrotrón propia permitiría priorizar el desarrollo de tecnologías médicas de acuerdo a las necesidades genéticas de nuestra sociedad en lugar de dirigir esfuerzos a adaptar soluciones desarrolladas en otros países.

Como estudio de caso, una serie de situaciones externas aunada al surgimiento de la pandemia de influenza H1N1 ocasionaron la contracción histórica del 8% del Producto Interno Bruto en 2009. Estiman los analistas que la mitad de esta pérdida se debió a la tardía atención del brote de influenza. Habiendo sido México el primer país americano donde se identificaron casos, las muestras de estos pacientes eran de valor estratégico. A falta de un Sincrotrón en México, las

muestras fueron analizadas en otros países con menor agilidad que la que se le debiera haber otorgado con la consecuente incapacidad de generar una solución propia.

Finalmente, pero no por eso menos importante, se requiere impulsar la formación de capital humano de alta especialización tanto en diseño, construcción y operación de una instalación de este nivel y también se requiere ampliar el número de usuarios que puedan incorporar el conocimiento generado desde un Sincrotrón a la academia y a la industria.

# ¿QUÉ PAÍSES TIENEN UN SINCROTRÓN?

Los 14 países con las economías más fuertes del mundo cuentan ya con, al menos, un sincrotrón. México es la número 15. En América Latina, Brasil fue el primero en construir el NLLS y ya invirtió en el segundo, Sirius. Los países desarrollados están construyendo más sincrotrones desde 2001 a la fecha que en toda la historia. En todos los casos los estudios de relación costo-beneficio han recomendado ampliamente la inversión pública en estas instalaciones.

*Nueva tecnología (límite de difracción) – En estos momentos están en construcción cuatro sincrotrones más en Jordania, Irán, Sudáfrica y Brasil.

# ÁREAS DE APLICACIÓN

QUÍMICA
El análisis de elementos químicos mediante rayos X permitirá la diversificación de métodos y la mejora de procesos de producción para adhesivos y lubricantes, películas anticorrosivas, preparaciones superficiales electroquímicas, películas hidrofóbicas y muchos otros compuestos.

CIENCIA DE MATERIALES
Será posible generar imágenes de la estructura tridimensional de materiales amorfos donde su comportamiento dependerá de la presencia de fases nano-cristalina o de impurezas químicas (dopping) y que no pueden ser estudiadas por métodos convencionales. La falta de una estructura cristalina es, sin embargo, extremadamente importantes en el comportamiento de estos materiales. La Luz de Sincrotrón también se usa en el estudio de aleaciones especiales para la industria aeroespacial, en la elucidación de la estructura molecular de catalizadores, semiconductores, superconductores y en cómo estas propiedades dependen de altas temperaturas o presiones.

MAGNETISMO
Técnicas que sólo pueden elaborarse en una Luz de Sincrotrón tales como dicroísmo circular magnético de rayos X suaves, son indispensables para elucidar la imagen de dominios magnéticos en películas delgadas y monocapas. Estos materiales son esenciales en sensores y en dispositivos de almacenamientos de datos. Adicionalmente, la Luz de Sincrotrón se usa para la detección “in situ” de microestructuras magnéticas.

CIENCIAS DE LA VIDA
La difracción de rayos X en tiempo real es una técnica única de Luz de Sincrotrón que se usa de manera rutinaria para el estudio de cambios estructurales y funcionales sufridos por moléculas biológicas como son ADN, proteínas y otros complejos macromoleculares en solución, así como para el estudio de la relación estructura-función de hormonas, enzimas y virus. Por ejemplo, la energía química es convertida en fuerza o movimiento por músculos y por otros sistemas biológicos. Las moléculas en los músculos sufren cambios conformacionales sutiles y rápidos es

solamente gracias a la Luz de Sincrotrón que podemos entender la secuencia de eventos moleculares responsables por la contracción muscular.

CRISTALOGRAFÍA MOLECULAR

Esta área es actualmente de la más alta actividad, tanto en el área académica como en la industrial. Como resultado de la cobertura completa del proyecto del genoma humano, ahora es posible cristalizar muchas macromoléculas biológicas íntimamente involucradas en fenómenos biológicos fundamentales como son la fertilización o el envejecimiento. La Luz de Sincrotrón ha resuelto la estructura atómica de muchas macromoléculas biológicas y continuará haciéndolo hasta que todas las proteínas codificadas por el genoma humando (alrededor de 50 mil) sean conocidas en su estructura. Un ejemplo importante de estos esfuerzos fue la resolución estructural del ribosoma, la maquinaria más importante en la célula, trabajo que fue reconocido con el Premio Nobel en Química 2009.

PROCESOS INDUSTRIALES

| País | Número de sincrotrones operando | Nombre del o los sincrotrones |
|---|---|---|
| Estados Unidos | 4 | NSLS<br>SSRL<br>SURF<br>CHESS |
| Alemania | 3 | ANKA<br>BESSY II<br>DELTA |
| Francia | 2* | ESRF<br>SOLEIL |
| Italia | 2 | ELETTRA<br>DAFNE |
| China | 2 | NSRL<br>BSRF |
| España | 1 | Alba |
| Australia | 1 | Australian Synchrotron |
| Dinamarca | 1 | ASTRID |
| Holanda | 1 | FELIX |
| Japón | 1* | HSRC |
| Rusia | 1 | KSRS |
| Suecia | 1* | MAX IV |
| Brasil | 1* | NLLS (Sirius) |
| India | 1 | INDUS |
| Singapur | 1 | SSLS |
| Corea | 1 | PSL |

En el pasado muchos proceso industriales tales como la producción de polímeros y cerámicas dependían del talento de experto y, muchas veces, en el azar. Actualmente estas industrias han desarrollado gran control y predictibilidad al realizar estudios de materiales y productos en un Sincrotrón. Otras aplicaciones industriales en áreas tales como electrónica (manufactura de microprocesadores), micro mecánica (manufactura de dispositivos micrométricos usados en aplicaciones médicas), industria aeroespacial (calibración de detectores), farmacéutica (estudios de relación estructura-función de fármacos) y aplicaciones ambientales (análisis de suelos y organismos contaminados).

# ¿ESTÁ MÉXICO PREPARADO PARA UN SINCROTRÓN?

- Nuestro punto de partida es mejor que el de Brasil (1988), España (1994), Jordania (~2010) y muchos otros países
- Contamos con cerca de 200 usuarios con experiencia en el uso de Luz de Sincrotrón que actualmente utilizan recursos públicos para viajar a otros países y llevar a cabo sus investigaciones.
- Se han preparado y se tienen identificados al menos una decena de científicos mexicanos con experiencia en el diseño y operación de sincrotrones.
- Existe compromiso explícito del estado de Morelos para albergar la primera fuente de Luz de Sincrotrón mexicana.
- Se cuenta con un comité científico nacional de primer nivel presidido por el Dr. Matías Moreno del Instituto de Física de la UNAM.
- Existe compromiso de los directivos de los sincrotrones de España (ALBA), USA (BNL, ALS), Unión Europea (Grenoble), Brasil, Australia, Reino Unido y Jordania quienes conformarían el comité científico internacional.

# LA EXPERIENCIA DARESBURY

El laboratorio de Sincrotrón de Daresbury (SRS) localizado en Cheshire, Inglaterra, fue la primera fuente de Luz de Sincrotrón de segunda generación construida a ese país en 1975 en sustitución del sincrotrón NINA. El SRS llegó a contar con 38 líneas experimentales a un costo de operación aproximado de 20 millones de libras al año y terminó su vida útil en agosto de 2008 después de 28 años de operación. Al cierre del SRS se creó el Campus Daresbury de ciencia e innovación tecnológica en la cual coexisten más de 120 empresas con ventas anuales superiores a los 15 M £.

A continuación se describirá el impacto que tuvo esta inversión pública en diferentes áreas estratégicas.

DERRAMA ACADÉMICA

- Más de 2 millones de horas de ciencia, 4 mil tesis doctorales, 2 mil proyectos postdoctorales
- Colaboraciones con 25 países que dieron lugar a 5 mil artículos científicos
- Mil 200 estructuras de proteínas resueltas y formación de especialistas.
- El núcleo básico que formó a los especialistas estuvo conformado por un staff de 325 científicos. De ellos, cien transfirieron sus conocimientos a la academia, a la industria y a otros sincrotrones.

DERRAMA TECNOLÓGICA

- El SRS tuvo una cartera de 200 clientes institucionales, entre ellos el 48% de las empresas líderes R & D en el mundo.
- Se generaron 9 compañías que en la actualidad son proveedores de los nuevos sincrotrones en el mundo.

DERRAMA ECONÓMICA
- La inversión inicial para la construcción del Sincrotrón fue de 600 M£ (13,200 mdp).
- Al cierre del SRS se generó una derrama de 1,000 M£ (1.6 veces), con una cadena de 300 proveedores locales.
- Gracias al desarrollo tecnológico local se redujo el costo de Sincrotrón de Diamond (DLS) a sólo 400 M£ (33% menos).
- Algunas de las empresas generadas con el Sincrotrón de Daresbury son los contratistas para el DLS.

# ¿CÓMO IMPULSA UN SINCROTRÓN LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL?

Existen cuatro grandes áreas en las que el sector empresarial verá incrementadas su competitividad global gracias a la construcción de un Sincrotrón.

En el diseño y construcción
La respectiva industria nacional ha proporcionado servicios de diseño y construcción del edificio e instalaciones a los siguientes Sincrotrones generando capacidades de muy alto valor en el entorno internacional. México tiene buenos ingenieros y un proyecto de ésta magnitud potenciaría su calidad.

* Diseñado y construido por ingenieros de la Universidad Al Balqa' en asociación con la Industria nacional de construcción

Como proveedores de equipo especializado
La contribución de la industria nacional al equipamiento de sus respectivos Sincrotrones ha variado substancialmente ya que se requiere equipo con tecnologías de frontera. Estas tecnologías están dominadas por las grandes potencias en el ramo (China, Rusia, Alemania etc.). En general el equipamiento adquirido en el extranjero representa entre el 60 y el 70% del costo de equipamiento.

Un caso importante de mencionar es el de Sirius, el nuevo Sincrotrón Brasileño, donde las autoridades de este proyecto, en conjunto con el Gobierno nacional, iniciaron un programa de impulso a la Industria de frontera del País, que incluye subsidios para que las compañías locales desarrollen prototipos del equipo deseado bajo las especificaciones requeridas por el equipo científico y tecnológico del Sincrotrón. Las autoridades del Sincrotrón comprarían este equipo, si los prototipos desarrollados son competitivos en precio, calidad y plazos de entrega.

En la operación
Los Sincrotrones adquieren la mayoría de los bienes y servicios de la industria local y nacional entre ellos:

- Suministro de electricidad (que representa típicamente el 50% del presupuesto de operación de un Sincrotrón $10-$20 millones de dólares)
- Servicios locales de plomería, electricidad, información tecnológica
- Servicios generales (agua, gas, comunicaciones, seguridad etc.)

- Seguros
- Alimentos y servicios médicos
- Servicios para el turismo científico (hoteles, transporte etc.)
- Habitación para empleados y sus familias
- Escuelas, centros deportivos y otros servicios

Como usuarios de servicios científicos y tecnológicos
La mayor fortaleza del Sincrotrón está basada en los servicios que le proporciona a la Industria. Algunos ejemplos:

Colaboración entre el Sincrotrón y la Industria para prestación de servicios a terceros.

La participación de las empresas de base tecnológica puede alcanzar un nivel mayor si se realizan las adecuaciones jurídicas correspondientes en cuanto a la creación de Asociaciones Público Privadas (APPs) en las siguientes áreas:

Alianzas: Formación de empresas conjuntas para comercializar servicios o productos. Este es el caso de la empresa Kyma (http://kyma.elettra.eu) consorcio creado entre el Sincrotrón italiano Elettra y una empresa privada para vender onduladores.

Consultoría: Proporcionar servicios de consultoría para prestar servicios de investigación en Sincrotrón a terceros (utilizando técnicas de análisis dominadas por la empresa prestadora de servicios)

| Sincrotrón | Costo aproximado (MDD) | Participación de industria local |
|---|---|---|
| Alba | $110 | 95% |
| Sirius | $70 | 95% |
| Australiano | $105 | 95% |
| SESAME | $40 | 100% * |

Operación: Proporcionar servicios al Sincrotrón o a empresas específicas para el diseño, construcción y operación de líneas experimentales y sensores requeridos por una industria determinada (cemento, petróleo y gas etc.)

Capacitación: Formación de recursos humanos altamente calificados en el uso del Sincrotrón

Comercialización: Transferencia directa de tecnología (vía venta de patentes o alianzas) para que ésta sea producida y/o comercializada por la industria privada.

# ¿POR QUÉ CONSTRUIR EL PRIMER SINCROTRÓN MEXICANO EN MORELOS?

Morelos es, después del DF, el estado con más investigadores capacitados para el uso y aprovechamiento de una fuente de Luz de Sincrotrón en México.

Por su localización física, un Sincrotrón en Morelos daría servicio al área central del país, que alberga más del 60% de la investigación así como su cercanía a tres aeropuertos internacionales facilitaría el acceso de investigadores de otros estados y otros países.

Las investigaciones que se realizan en este estado cubren las áreas de Física Química, Ciencia de Materiales, Biología, Farmacología, Antropología, Conservación de Patrimonio, etc.

Las industrias potencialmente beneficiadas son reconocidas como área de oportunidad de la agenda de innovación estatal y esto permitiría la conjunción de esfuerzos.

La comunidad científica que suscribe el proyecto ha recibido apoyo de Graco Ramírez, Gobernador del Estado de Morelos, mediante el financiamiento del estudio científico y se ha comprometido a donar un terreno de al menos 10 hectáreas que presente las condiciones geológicas y técnicas necesarias.

RETOS

| Industria | Servicios/ Investigaciones | Valor aproximado (MDD) |
|---|---|---|
| Automotriz | Propulsión de automóviles usando hidrógeno | $300,000 para el 2050 |
| Farmacéuticas | Nuevas medicinas | Varía de país a país (billones de dólares) |
| Salud | Nuevas técnicas de IVF | $500 para el 2020 |
| Alimentos | Identificación de las variedades de granos que retienen más valor nutricional después de ser procesadas | $1,000 para el 2020 |
| Petróleo y Gas | Confirmación de reservas probadas | Varia de país a país (billones de dólares) |
| Minería | Comprobación de reservas potenciales y probadas de Oro | Varia de país a país (billones de dólares) |

El primer reto a superar es el desconocimiento de la sociedad sobre el tema y también la preocupación de la clase política hacia la inversión (alrededor de 20 mil millones de pesos) la cual no es común para un proyecto científico pero que se considera de rutina para otras acciones de infraestructura, en particular en el sector de comunicaciones. Por otro lado, el convencimiento generado en los sectores gobierno y sociedad debe ser profundo, pues se requerirá asegurar el financiamiento para la construcción durante los primeros diez años y posteriormente el presupuesto para la operación, que sería de aproximadamente 450 millones de pesos anuales. De manera paralela se deberán formar recursos humanos especializados en el diseño, construcción, operación y utilización de un sincrotrón por lo que sería deseable contar con un presupuesto específico durante el tiempo de la construcción.

De llevarse a cabo el proyecto, se logrará:

1. Formar una generación de ingenieros especializados en mega construcciones científicas de calidad global.
2. Que los científicos de todas las áreas del conocimiento tengan acceso a tecnologías habilitadoras que redundarán en más y mejores publicaciones.
3. Que se formen recursos humanos especializados volviéndose el Sincrotrón Mexicano un referente regional e internacional en áreas específicas de interés nacional.
4. Que la industria nacional cuente con laboratorios de alta especialidad para el desarrollo de nuevos productos a partir de tecnologías propias con impacto positivo en su competitividad global.
5. Desarrollar capacidades institucionales para la toma de decisiones, diseño estratégico y realización de megaproyectos de impacto nacional transexenales.
6. Comenzar la recuperación de la industria nacional mediante la generación de tecnologías de impacto mundial a partir del conocimiento proveniente de la comunidad científica.
7. Que México entre, por fin, a la economía del conocimiento.

# ¿Cómo Hacer Realidad en México una Fuente de Luz Sincrotrón?

**Tomás Viveros García.** Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.

*People have been innovating around the world for centuries: either inventing or challenging the status quo. Although inventions have been successful in silos or pockets, far-reaching and scalable innovation has most frequently occurred within organized and government- supported frameworks.*
OSMAN SULTAN
Chief Executive Officer du Telecom, United Arab Emirates

*La gente ha estado innovando en el mundo por siglos: ya sea inventando o retando al status quo. Si bien las invenciones han sido exitosas en silos o en los bolsillos, la innovación de mayor alcance y escalable ha ocurrido con mayor frecuencia dentro de estructuras organizadas y apoyadas por el gobierno.*
OSMAN SULTAN
Director Ejecutivo, du Telecomm, Emiratos Árabes Unidos

## Introducción.

Las participaciones anteriores de mis compañeros han dado un panorama importante sobre lo que es, para que sirve y que beneficios traería contar con una Fuente de Luz Sincrotrón mexicana.
Importante resaltar entre otros la conjunción de esfuerzos desde la ingeniería las diferentes disciplinas que están involucradas en sus diferentes facetas; la aplicación en diferentes áreas y en consecuencia la relación con los sectores científicos, tecnológicos e industrial; y evidentemente una mejora sustancial y sostenida en la competitividad.

## Antecedentes.

Ante el estancamiento de la economía nacional al igual que las economías de los países de Latinoamérica existe la noción de invertir exclusivamente en las necesidades primarias y dejar de lado el desarrollo, por lo que es conveniente y necesario poner en la mesa este tema y pensar en cómo lograr la **sociedad de conocimiento**. En ésta se considera al conocimiento como un principio estructurador de la sociedad moderna resaltando su importancia para la sociedad actual, para los cambios en la estructura económica y en los mercados laborales, para la educación y la formación.

Los resultados recién publicados por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) del Índice Mundial de Innovación 2015 ubica a México en la posición 57 de 141 países. Si bien representa una mejora con el año 2014 en donde ocupó el lugar 66, es el tercer lugar de los países latinoamericanos después de Chile (42) y Costa Rica (51).
Siendo una de las 15 mayores economías del mundo su posición en Innovación no es adecuada. Uno de los elementos que considera el mencionado índice es la sofisticación empresarial donde

ocupa la posición 56 mientras que en el desarrollo de clusters y colaboraciones en investigación entre universidades e industria ocupa el 42.
Es importante mencionar a la ministra de Propiedad Intelectual y Subsecretaria del Departamento de Empresas, Innovación y Calificaciones del Reino Unido, quien dice, ante el resultado sobre el Reino Unido que ocupa el segundo lugar en este índice, “el país cuenta con lo mejor a lo que puede aspirarse en las ciencias y la investigación: a pesar de que nuestra población representa menos del uno por ciento de la población mundial se le atribuye el 16% de las investigaciones publicadas de mayor calidad”. Estas palabras indican una honda preocupación por la ciencia y el interés por cultivarla como un elemento importante para el desarrollo tecnológico y la innovación. Y el desarrollo económico ha tenido como motor el desarrollo científico e industrial.

En nuestro país la inversión en ciencia y tecnología ha tenido un rezago histórico que lo sitúa por debajo del 1% del PIB (0.6% en 2015) lo cual no ha ayudado al despegue tecnológico.
Más aun la mayor parte de estos recursos han sido destinados al gasto corriente y poco a la inversión en infraestructura. Los datos de un estudio del poder legislativo muestran que los recursos destinados a la inversión en infraestructura ocupan un porcentaje pequeño en los recursos totales del sector. Esta situación se agrava cuando se considera la participación del sector privado y los bajos recursos que le destinan al desarrollo tecnológico y la innovación.

# Elementos de Oportunidad y Colaboración.

# Financiamiento

En las economías de mercado la inversión en I+D la realizan tres entidades: las empresas, para ampliar su presencia en los mercados, aumentando la competitividad y productividad, las Universidades encargadas de realizar investigación científica y tecnológica; el sector privado a través de las organizaciones sin fines de lucro y el estado.

**Cuadro No. 1. Presupuesto público federal en México para la Función Ciencia, Tecnología e Innovación, por ramos y por destino del gasto, 2014-2015. (Millones de pesos y variación real).**

| No. Ramo | Denominación del ramo | Gran Función | 2014 PEF | 2015 PPEF | 2015 PEF | Diferencial 2015 PEF - 2014 PEF | Diferencial 2015 PEF - 2015 PPEF | 2015 PPEF / 2014 PEF | 2015 PEF / 2014 PEF | 2015 PEF / 2015 PPEF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Millones de pesos | | | | | Variación real. | | |
| 8 | SAGARPA | 3.- Desarrollo Económico | 5,849.72 | 5,749.73 | 5,749.51 | 99.78 | - 0.22 | 1.77 | 1.77 | -0.00 |
| 9 | Comunicaciones y Transportes | | 290.30 | 289.95 | 289.95 | - 0.35 | - | -0.12 | -0.12 | - |
| 10 | Economía | | 338.72 | 325.52 | 325.52 | -13.19 | - | -3.90 | -3.90 | - |
| 11 | Educación Pública | | 10,895.97 | 13,672.80 | 13,770.70 | 2,970.73 | 103.90 | 26.53 | 27.49 | 0.76 |
| 12 | Salud | | 2,039.89 | 2,157.34 | 2,161.94 | 122.05 | 4.60 | 5.76 | 5.98 | 0.21 |
| 16 | SEMARNAT | | 528.52 | 524.93 | 524.93 | - 3.60 | - | -0.68 | -0.68 | - |
| 18 | Energía | | 830.79 | 821.69 | 821.69 | - 9.04 | - | -1.09 | -1.09 | - |
| 23 | Provisiones Salariales y Económicas | | 4,810.90 | 1,913.80 | 4,886.20 | 275.30 | 27.40 | 0.56 | 6.07 | 0.56 |
| 38 | CONACYT | | 31,088.53 | 33,706.67 | 33,706.67 | 2,620.34 | - | 8.43 | 8.43 | - |
| **Total de la Función por Ramos** | | | **56,181.09** | **62,162.23** | **62,243.11** | **6,062.02** | **80.87** | **10.65** | **10.79** | **0.13** |
| **No. Sf.** | **Subfunción** | **Destino del Gasto (Subfunción)** | | | | | | | | |
| 01 | Investigación Científica | 3.- Desarrollo Económico | 41,122.48 | 45,618.57 | 45,626.95 | 4,503.37 | 108.27 | 10.59 | 10.95 | 0.24 |
| 02 | Desarrollo Tecnológico | | 1,692.42 | 1,692.66 | 1,692.66 | 70.24 | - | 4.33 | 4.33 | 0.00 |
| 03 | Servicios Científicos y Tecnológicos | | 3,159.41 | 3,576.66 | 3,576.66 | 417.24 | - | 13.21 | 13.21 | - |
| 03 | Función Pública | | 89.97 | 91.98 | 91.98 | 2.00 | - | 2.23 | 2.23 | - |
| 04 | Innovación | | 10,185.81 | 11,282.37 | 11,254.97 | 1,069.16 | -27.40 | 10.77 | 10.50 | -0.24 |
| **Total de la Función por Destino del Gasto** | | | **56,181.09** | **62,162.23** | **62,243.11** | **6,062.02** | **80.87** | **10.65** | **10.79** | **0.13** |

Elaborado por la Subdirección de Análisis Económico de la Dirección de Servicios de Investigación y Análisis adscrito a la Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis de la Cámara de Diputados con información del Proyecto y el Presupuesto de Egresos de la Federación.
**PEF/** Información obtenida del Presupuesto de Egresos de la Federación y corresponde al presupuesto aprobado por la Cámara de Diputados.
**PPEF/** Información obtenida del Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación y corresponde al presupuesto propuesto por el Ejecutivo Federal y está sujeto a la aprobación de la Cámara de Diputados.

Es importante definir el campo de acción donde el estado debe financiar los gastos en I+D.
De acuerdo con la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico los países que más gastan en Ciencia Tecnología e Innovación en 2013 fueron, como proporción del PIB, Israel 4.213%, Suecia 3.302%, Corea 4.149%, Finlandia 3.309%, Singapur 2.6%, mientras México destinó 0.544%.

En el 2015 la Cámara de Diputados aprobó un gasto de 62243.11 millones de pesos, tal como puede verse en la tabla inmediata (Cuadro 1), de los cuales el mayor monto correspondió a CONACYT con 33706.67 mdp, y el resto distribuyéndose en diferentes secretarías de estado.

En un análisis del presupuesto público federal para la FUNCIÓN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2014-2015, realizado por la Cámara de Diputados, se reporta que el presupuesto asciende a 0.34% y se observa un marcado predominio del gasto corriente sobre el gasto de capital. En el año 2015, del gasto total aprobado para esta Función, el 78.30% corresponde a gasto corriente (servicios personales, gastos de operación como papelería y cómputo y subsidios) y 21.70% a gasto de capital (gasto de inversión para la modernización y ampliación de las actividades), distribuido de la siguiente manera (Cuadro 2):

- Para Investigación Científica el 69.85% fue para gasto corriente y el 3.46% para gasto de capital;
- Para Desarrollo Tecnológico el 2.59% fue para gasto corriente y el 0.13% para gasto de capital;
- Para Servicios Científicos y Tecnológicos el 5.69% fue para gasto corriente y el 0.05% para gasto de capital;
- Para Función Pública el 0.15% fue para gasto corriente; y
- Para Innovación el 0.02% fue para gasto corriente y el 18.07% fue para gasto de capital

**Cuadro No. 2 Presupuesto público federal en México para la Función Ciencia, Tecnología e Innovación, por ramos y por destino del gasto, 2014-2015. (% del PIB).**

| No. Ramo | Denominación del ramo | Gran Función | 2014 PEF | 2015 PPEF | 2015 PEF | Diferencial 2015 PEF - 2014 PEF | Diferencial 2015 PEF - 2015 PPEF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Millones de pesos | | | | |
| 8 | SAGARPA | 3.- Desarrollo Económico | 0.03 | 0.03 | 0.03 | -0.00 | -0.00 |
| 9 | Comunicaciones y Transportes | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | - |
| 10 | Economía | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | - |
| 11 | Educación Pública | | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.01 | 0.00 |
| 12 | Salud | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 16 | SEMARNAT | | 0.003 | 0.003 | 0.003 | -0.000 | - |
| 18 | Energía | | 0.005 | 0.004 | 0.004 | -0.000 | - |
| 23 | Provisiones Salariales y Económicas | | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | -0.00 |
| 38 | CONACYT | | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.01 | - |
| **Total de la Función por Ramos** | | | **0.32** | **0.34** | **0.34** | **0.02** | **0.000** |
| **No. Sf.** | **Subfunción** | **Destino del Gasto (Subfunción).** | | | | | |
| 01 | Investigación Científica | 3.- Desarrollo Económico | 0.23 | 0.25 | 0.25 | 0.02 | 0.00 |
| 02 | Desarrollo Tecnológico | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | - |
| 03 | Servicios Científicos y Tecnológicos | | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | - |
| 03 | Función Pública | | 0.001 | 0.001 | 0.001 | -0.000 | - |
| 04 | Innovación | | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.00 | -0.00 |
| **Total de la Función por Destino del Gasto** | | | **0.32** | **0.34** | **0.34** | **0.02** | **0.00** |

Elaborado por la Subdirección de Análisis Económico de la Dirección de Servicios de Investigación y Análisis adscrito a la Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis de la Cámara de Diputados con información del Proyecto y el Presupuesto de Egresos de la Federación.
PEF/ Información obtenida del Presupuesto de Egresos de la Federación y corresponde al presupuesto aprobado por la Cámara de Diputados.
PPEF/ Información obtenida del Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación y corresponde al presupuesto propuesto por el Ejecutivo Federal y está sujeto a la aprobación de la Cámara de Diputados.

Si bien los montos mencionados son altos, estamos lejos de poder alcanzar las metas de 1% del PIB tal como se establece en la Ley de Ciencia y Tecnología. Más aún es también preocupante que el gasto en Ciencia, Tecnología e Innovación sea en una gran proporción destinado a gasto corriente y que la inversión en infraestructura científica y tecnológica sea insuficiente. SI bien en los últimos años se ha notado un esfuerzo por introducir mejoras en esta dirección a través de algunos programas de CONACYT, considero que aquí hay una gran oportunidad de incrementar la productividad y competitividad del país.

De manera específica el proyecto de construcción de una Fuente de Luz Sincrotrón (FLS) tendría un costo aproximado de 500 millones de dólares, el cual sería invertido en un periodo de 8 a 10 años.
Esta situación lleva a pensar que para la construcción de una FLS se requiere un financiamiento del estado por un periodo mayor que el de un sexenio, que el financiamiento sea oportuno y que el manejo del mismo sea flexible en el sentido de poder trascender ejercicios fiscales anuales. Lograr estas condiciones es posible si los diferentes actores (poderes ejecutivo y legislativo) lo acuerdan.

# Sobre los Usos del Sincrotrón

Un Fuente de Luz Sincrotrón es un acelerador de partículas (electrones generalmente) en forma de anillo que sirve para generar rayos X.
Ventajas: en primer lugar “son fuentes mucho más brillantes, lo cual es útil porque permite estudiar muestras de tamaño pequeño como cristales difíciles de sintetizar o células”.
La segunda ventaja es que se puede seleccionar la energía de los rayos X en un rango muy amplio. “Gracias a esta característica se puede hacer ciencia muy diversa utilizando radiación de sincrotrón” declara Silvia Ramos del Sincrotrón Diamond.
Los sincrotrones son los caballos de batalla de la “ciencia de rayos X” actual. La gran mayoría de las estructuras de proteínas registradas en el “Protein Data Bank”, el cual es un registro con la gran mayoría de estructuras conocidas, se han obtenido en sincrotrones, y la estructura de la doble hélice del ADN fue descubierta con técnicas de difracción de rayos X a inicios de los años 50 del siglo XX.
Aquí se han dado ejemplos de aplicaciones en diferentes disciplinas tales como:
Investigación química: el análisis de los compuestos químicos permite la mejora de los procesos químicos en ámbitos tales como la producción de materiales como adhesivos, lubricantes,
Investigación de materiales especializados: los rayos sincrotrón permiten el estudio en 3D de moléculas y proteínas que no habrían podido ser estudiadas de otra manera;
Magnetismo: la luz de sincrotrón es muy importante para estudiar todo lo relacionado con el magnetismo, como el estudio del dicroísmo en rayos X;
Investigación en ciencias de la vida: ¿cómo infecta un virus a una célula? ¿cómo se convierte la energía química en movimiento de un músculo?
Materiales como proteínas, hormonas, macromoléculas, fármacos, polímeros son estudiados en un sincrotrón

La oportunidad de mencionar nuevamente estas aplicaciones es para hacer notar la diversidad de ramas en las que los sincrotrones ya están siendo empleados y resaltar que en estos espacios se generan ambientes inter y multidisciplinarios en los que convergen investigadores de diversas disciplinas para atender, entender y resolver problemas complejos.

Los beneficios que se generan en este ambiente son cuantiosos y se pueden nombrar al menos:
1. Formación de recursos humanos y generación de conocimiento

2. Participación y retornos industriales en diferentes áreas: tecnologías de vacío, electrónica, bajas temperaturas, nuevos materiales…
3. Tecnologías de la información
4. La cooperación nacional e internacional

Los beneficios se notan desde la conceptualización del sincrotrón, su planteamiento, el diseño conceptual y el ingenieril y en todas las etapas de construcción.
Para la realización y obtención de estos beneficios se requiere conjuntar la participación de técnicos, ingenieros, científicos de las más variadas disciplinas y esto trae en consecuencia la mejora de procesos, la generación de nuevas empresas y la modernización de las que participen y la formación de técnicos especializados que podrán en un futuro desplegar sus conocimientos y capacidades en otros ámbitos.

# Resumen.

De lo aquí expuesto podemos concluir que:
i) Estamos proponiendo la construcción de un gran instalación científica, que constituye un proyecto nacional que atiende a las ciencias, la tecnología y la innovación;
ii) Para lograr este proyecto es necesaria la suma de fuerzas de investigadores, de empresarios y políticos y conlleva la propuesta de políticas colegiadas para la toma de decisiones;
iii) Se requiere el financiamiento del estado, con el que se deberá contar de manera continua y expedita y requiere acuerdos al más alto nivel para la toma de decisiones.

REFERENCIAS

García Hernández, Samara, Investigación y Desarrollo, No. 334, Año XXIII, Septiembre 2015.

Tépach, M. Reyes, El presupuesto Público federal para la FUNCIÓN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN 2014-2015, Dirección de Servicios de Investigación y Análisis, Cámara de Diputados, LXII Legislatura, Febrero 2015.

http://www.dicyt.com/noticias/el-impacto-de-un-sincrotron-sobre-la-produccion-cientifica-de-un-pais-puede-ser-enorme

Krüger, Karsten, El concepto de sociedad del conocimiento, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Vol. XI, nº 683, 25 de octubre de 2006.

The Global Innovation Index, WIPO, INSEAD and Cornell University, 2015.

# ¿Cuál es la Experiencia Internacional en Fuentes de Luz Sincrotrón?

**Guadalupe de la Rosa.** Universidad de Guanajuato.

En el mundo existen alrededor de 70 sincrotrones en diferentes estadíos de desarrollo, esto significa que algunos están operando y otros están en construcción. No todos se utilizan para investigación y desarrollo tecnológico, algunos están dedicados a la investigación fundamental (física teórica) (Figura 1). En los últimos 15 años se han puesto en marcha un total de 25 nuevas fuentes de luz alrededor del mundo.

Figura 1. Mapa de sincrotrones del mundo
( http://www.diamond.ac.uk/Home/About/Synchrotrons/World/largemap.html )

Es importante destacar que de las 15 principales economías en el mundo, México es el único país que no cuenta con este tipo de instalaciones, lo que nos pone en una gran desventaja con respecto a aquellos que sí las tienen. En el continente americano, solamente Estados Unidos, Canadá y Brasil tienen sincrotrones. En Estados Unidos hasta este momento, cuentan con 7,

Canadá con una y Brasil con una, sin embargo éste último está invirtiendo en una segunda fuente de luz llamada Sirius (Tabla 1)

| Nombre | País | Sitio web |
|---|---|---|
| Laboratorio Nacional de Luz Sincrotron | Brazil | www.lnls.br/ |
| Canadian Light Source | Canada | www.lightsource.ca |
| Advanced Light Source | USA | www-als.lbl.gov/ |
| Advanced Photon Source | USA | www.aps.anl.gov |
| Center for Advanced Microstructures and Devices | USA | www.camd.lsu.edu/ |
| Cornell High Energy Synchrotron Source | USA | www.chess.cornell.edu/ |
| National Synchrotron Light Source II | USA | www.bnl.gov/ps/ |
| Stanford Synchrotron Radiation Lightsource | USA | www-ssrl.slac.stanford.edu |
| Synchrotron Ultraviolet Radiation Facility | USA | physics.nist.gov/MajResFac/SURF |

Tabla 1. Nombres de los sincrotrones en el continente americano y país en el que se encuentran localizados

# Experiencias Internacionales Diversas.

## DIAMOND (Reino Unido, 2002)

Es una organización sin fines de lucro financiado por el gobierno del Reino Unido a través del Consejo de Instalaciones de Ciencia y Tecnología (STFC) en conjunto con la Wellcome Trust (fundación dedicada a apoyar Proyectos en salud). Cada año, cerca de 3000 investigadores tanto de la academia como de la Industria utilizan estas instalaciones que cuentan con un staff de 500 personas.

## ALBA (España, 2010)

En el 2003, el proyecto del **Sincrotrón ALBA fue aprobado y financiado a partes iguales entre la administración catalana y española**. (inicio en 1990)
Para esto, se creó el Consorcio para la Construcción, Equipamiento y Explotación del Laboratorio de Luz de Sincrotrón (CELLS). Tiene una capacidad para atender 1000 investigadores

## Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL; USA, 1992)

En 1962 se construye el Acelerador lineal (SLAC) y en 1973 se comienza a operar la fuente de luz de SSRL en modo “parásito”. Finalmente en 1992 SSRL es dedicado a usuarios. SSRL es una dirección del SLAC, funciona como una oficina de Ciencia. El SSRL pertenece al Departamento de Energía de los EUA y es operado por la Universidad de Stanford. Atiende un promedio de 1500 investigadores por año.

## European Synchrotron Radiation Facility. (Francia, 1994)

ESRF es un modelo de cooperación internacional conformado por 21 Países de los cuales 13 son países Miembros (Francia; Alemania, Italia, Reino Unido, Rusia, España, Suiza, Benesync

(Bélgica y Países Bajos), Nordsync (Dinamarca, Finlanldia, Noruega, Suecia) y 8 son países Asociados (Israel, Austria, Polonia, Portugal, Centralsync (República Checa, Hungría, Eslovenia) y Sudáfrica. La diferencia radica en el porcentaje de aportación del país y los derechos a voz y voto en el consejo.

## Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón. (Brasil, 1997).

En 1979 se presenta la propuesta para construir un sincrotrón por parte de la Sociedad para el Avance de la Ciencia en Brasil. Después de varios intentos se lleva a cabo el proyecto y las operaciones de LNLS inician en 1997. Esta fuente de luz forma parte del Centro Brasileño para la Investigación en Energía y Materiales (CNPEM) que está conformado por el LNLS, el Centro Brasileño de Ciencia y Tecnología del Bioetanol(CTBE), el Laboratorio Brasileño de Biociencias (LNBio) y el Laboratorio Brasileño de Nanotechnología (LNNano).
El CNPEM es un centro privado de investigación y desarrollo financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

## SESAME. (Jordania)

En los años 80´s se reconoce la necesidad de tener un sincrotrón en el oriente medio. En los 90´s se establece un modelo de cooperación regional similar al CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear) con la finalidad de establecer cooperación en ciencia, fomentar la solidaridad y la paz.
En los años 90´s se propuso por parte de Gustaf-Adolf Voss y Herman Winick construir la fuente de luz a partir de los componentes de BESSY I (Alemania)
Auspiciado por la UNESCO (aprobado en el 2002).

En conclusión cada sincrotrón tiene su propia historia y su propia forma de organización y administración. De esta misma manera, las capacidades de cada una de las fuentes de luz existentes son diferentes, lo que permite realizar un sinnúmero de tipos de experimentos. Esto se debe a que en general, el haz de luz es diferente, tiene sus propias características, por ejemplo, la brillantez. El equipo y la instrumentación son extremadamente variados, lo que fomenta la competencia constructiva y la colaboración entre este tipo de facilidades. Más aún, en cierta manera, cada fuente de luz desarrolla más algunas áreas que otras, dependiendo de las necesidades y requerimientos del entorno. Así, por ejemplo, el *Canadian Light Source* tiene una fuerte componente de servicio a la industria minera. Los sincrotrones en o cerca del Silicon Valley aportan su expertise a áreas como las tecnologías de la comunicación, la energía y los materiales. Por otro lado, el European Synchrotron Radiation Facility provee servicios importantes a firmas farmacéuticas y es imprescindible para estudios y experimentos involucrados en la conservación del Patrimonio Cultural.

# Cooperación Científica y Tecnológica.

Existen varios modelos de cooperación científica y tecnológica, sin embargo y a reserva de continuar con el diálogo con los sincrotrones del mundo, pareciera que para el momento actual y entretanto se construye el sincrotrón en México, el colaborar con ALBA y el ESRF es la mejor opción. En el caso de ALBA, los directivos han expresado el interés para que México: (a) construya una línea y/o (b) se adhiera como país miembro. En cuanto a ESRF, la opción de cooperación y/o colaboración considera el que México se adhiera como país miembro o país asociado. En la Red Tematica Mexicana: Usuarios de Luz Sincrotrón, creemos que estos debieran ser los primeros pasos a considerar en la construcción de una fuente de luz mexicana. Por otro

lado, usualmente se puede considerar la modificación o adaptación de la instrumentación de las líneas de experimentación para que el usuario pueda realizar análisis, siempre y cuando el usuario a través de su institución haga la inversión.

Cabe mencionar que gracias al apoyo de diversos organismos internacionales, México ha llevado a cabo investigaciones en donde se apliquen técnicas de luz sincrotrón, en modalidades de cooperación con otros países para temas que son de interés común al grupo. Tal es el caso del financiamiento otorgado por la Agencia Internacional de Energía Atómica a la Universidad de Guanajuato para llevar a cabo un proyecto coordinado con otros 10 países que incluyen Bélgica, Canadá, China, Francia, Italia, Jordania, Mongolia, Eslovenia, Sudáfrica y Ucrania.
El Centro Internacional para la Física Teórica es otra instancia que ha aportado recurso para que mexicanos realicen experimentos particularmente en el Sincrotrón Elettra de Italia.

# Otros Aspectos de Relevancia Internacional.

## Premios Nobel

Al ser un sincrotrón una facilidad en donde se puede analizar la materia y obtener información que no se puede obtener con ninguna otra herramienta existente, y a un nivel extremadamente fino, el impacto que se tiene en la calidad de las investigaciones es de extrema relevancia. Así, diversas fuentes de luz han contribuido con trabajos que han culminado en premios nobel. Por ejemplo, Lawrence Berkeley National Laboratory cuenta 13, Stanford Synchrotron Radiation Laboratory con 5 y el European Synchrotron Radiation Laboratory con 5.

## Industria

Un gran número de compañías internacionales utilizan los servicios de las fuentes de luz ya que los datos obtenidos permiten realizar mejoras en los procesos y productos. Cada uno de estos laboratorios impacta de manera impresionante. Si tan solo tomamos un ejemplo, veremos que el **Advanced Photon Source (USA)** tiene acuerdos con más de 230 compañías, entre las que se pueden mencionar: Chevron, 3M, Amoco, Bayer, Caterpillar, E.I. DuPont de Nemours & Co., Exxon, Ford Motor Co., GE Global Research Center, General Motors, Intel, Kraft Foods Technology Center, Monsanto, Packer Engineering, Texas Instruments, Westinghouse Electric, y varias firmas farmacéuticas, entre otros.

## Piensa global, actúa local

Para ser competitivos a nivel internacional, es necesario serlo primero a nivel local. Un estudio del Lawrence Berkeley National Laboratory indica que esta facilidad genera una derrama económica annual de $700 millones USD. El Laboratorio fue responsable de crear 5,600 empleos locales y 12,000 nacionales. Adicionalmente, las nuevas tecnologías desarrolladas en el BL han generado billones de dólares en ganancias y miles de nuevos empleos.

# Conclusiones.

Estamos aprendiendo de la experiencia internacional
Existen varios modelos para el establecimiento de fuentes de luz
Creemos que en México este debe ser un proyecto nacional
Es muy importante la cooperación y colaboración y para ello hay expresión de interés en el extranjero.

# Plan de Desarrollo para la Fuente de Luz Sincrotrón Mexicana.

**Matías Moreno.** Instituto de Física, UNAM.

## Temas.

- La duración del proyecto y sus etapas.
- Alineación política y científica.
- Etapas y costos: financiamiento oportuno.
- Conformar un grupo técnico Nacional y un Comité Asesor-Supervisor Internacional
- Formación de recursos humanos
- Colaboración con fuentes de luz sincrotrón ya existentes
- Lineamientos de gestión y operación.

## Duración del Proyecto.

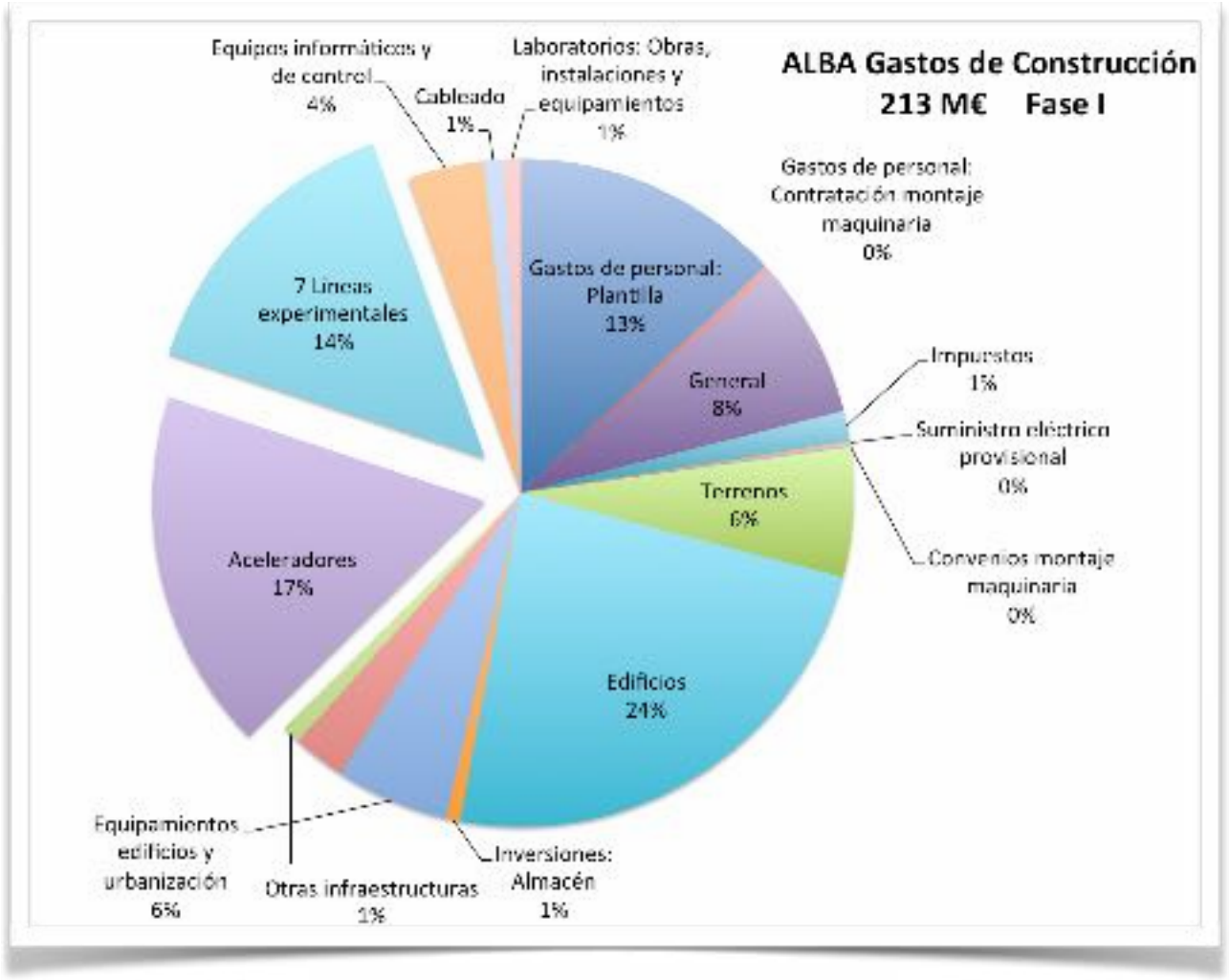
La primera fase es una fase de diseño y construcción de los aceleradores y las instalaciones de apoyo. Esta etapa dura de 8 a 10 años e incluye el diseño y construcción del 20% al 30% de las líneas experimentales .

La segunda fase, qué es la explotación y crecimiento, con una duración de 10 a 15 años. En ella se continúa la construcción de líneas y eventualmente se saturan las líneas experimentales del diseño original de la Fuente de Luz de Sincrotrón (FLS).

Finalmente en una tercera fase qué sigue siendo de explotación pero en la que 25 años después de diseñarla habrá que actualizar el sincrotrón mismo. Esta, al igual que la segunda fase, debería de mantener la Fuente de Luz de Sincrotrón otros 10 a 15 años adicionales.

Veamos ahora un poco más de cerca el gasto de construcción en la primera fase: La experiencia internacional indica que en porcentaje del gasto total que se requiere año con año sigue un patrón parecido en los sincrotrones construidos en la última década. En la figura de la siguiente página se presenta una gráfica de tipo pastel en dónde se muestra el gasto de inversión de ALBA, la FLS española.

La primera cosa que hay que destacar en esta gráfica, es que un 70% es inversión totalmente hecha de proveedores nacionales. Por otra parte estimamos en el 30% restante, correspondiente a la construcción de las líneas experimentales y de los aceleradores, es un gasto que deberá que ser compartido entre gastos hechos fuera de nuestro país y gastos nacionales. Sobra recalcar que desde la etapa de diseño y construcción se buscará maximizar la participación de empresas establecidas en el país con el objeto de impulsar el desarrollo y la asimilación de tecnologías de punta.




Veamos ahora el Gasto de inversión en ALBA que, como mencionamos antes, es similar al de otras FLS modernas. En gráfica de la página siguiente se muestra la variación anual en inversión. Este ejemplo es relevante porque España logró, creando métodos de gestión y garantizando el financiamiento, tener la construcción y la operación del sincrotrón dentro de presupuesto y dentro del tiempo que se planteó originalmente para construir. De manera notable se incluye en esta gráfica una parte de planeación correspondiente a los dos primeros años y en donde se invierte alrededor de 6 millones de euros.

En el tercer año se emplean 25 millones de Euros y en el cuarto alrededor de 21 millones de Euros, es una inversión dominada por la obra civil. En el quinto año crece el gasto de inversión porque es cuando se empiezan a construir y/o a instalar los equipos experimentales y los aceleradores que producen el haz de electrones y con ellos la luz de sincrotrón. En este quinto año se tiene una inversión de cerca de 50 millones de euros.

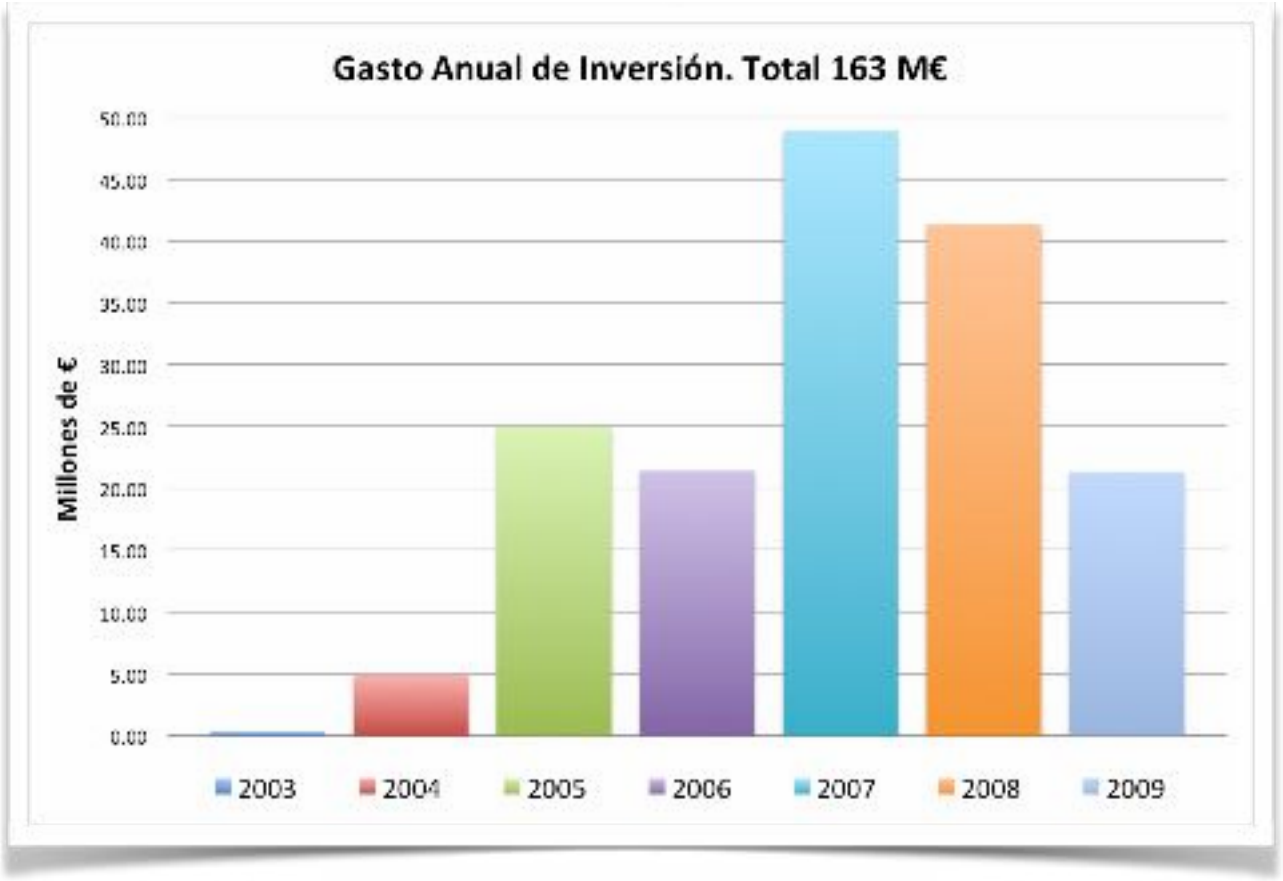
Para el sexto año, se tiene una inversión ligeramente menor de 42 millones de euros. Finalmente la inversión en el séptimo año es de alrededor de 21 millones de euros para un costo final de cerca de 215 millones de euros si se incluye el gasto corriente de unos 50 millones de Euros en siete años.

Es importante destacar que la tecnología de las Fuentes de Luz Sincrotrón se ha desarrollado vertiginosamente en los 8 años recientes y una gran cantidad de aquellas construidas en los 25

años recientes ha decidido actualizarse. Esta observación es importante por dos razones. La primera es que hay una ventana de oportunidad para construir en nuestro país una FLS de frontera que competiría con una decena de FLS de clase mundial y, por otra parte, el avance científico tecnológico en el área permite hacerlo con un aumento de costo razonable. Nuestra estimación actual es que la primer FLS mexicana costará 500 millones de dólares.

Este patrón de gasto es básicamente un comportamiento que se repite de un sincrotrón exitoso al siguiente, distintos sincrotrones tienen un gasto total final que depende del tipo y tamaño de la Fuente de Luz pero la estructura de la curva es semejante en todos los casos.

Una vez puesto en marcha la FLS el gasto de operación e inversión se estabilizó en unos treinta millones de euros.




# Financiamiento y Gestión.

El proyecto requiere de una serie de elementos singulares para hacer correcta la estimación de presupuesto y el tiempo de diseño y construcción. Si cualquiera de estas dos variables falla, una repercute sobre la otra y no seria posible cumplir el plan propuesto.

La parte de planificación, como se menciona arriba, lleva un año y en él se genera principalmente el Proyecto Técnico Detallado. Con éste se requiere un año adicional para tener el Proyecto

Ejecutivo de carácter arquitectónico y de ingeniería, al tiempo que se inician las labores de urbanización del sitio.

Hay 50 experiencias alrededor del mundo y ciertamente las más cercanas a nuestro modo de operar y de conducir el país, son las experiencias de España y de Brasil. Estas experiencias las hemos estudiado a fondo y de ellas hemos extraído lecciones muy importantes.

En particular, hay que resaltar características de la gobernanza de las fuentes de luz española y brasileña. Ellas requirieron la puesta en práctica de un nuevo tipo de colaboración entre el gobierno y la empresa privada. Esencialmente en Brasil se creó un concepto que se llama empresa social y en España se formó un consorcio de tipo federal-provincial-privado. Estas últimas guardan semejanzas con las Asociaciones Público Privadas en México. En este marco se crearía una asociación mixta y el gobierno, que es parte de la asociación, vigila y aprueba los planes y proyectos propuestos. La conducción de los cuales recae en la asociación misma. A la FLS se le asignarían tareas a ejecutar que se revisarían periódicamente para garantizar que el proyecto va fluyendo de acuerdo a lo planeado.

Esto claramente con la supervisión y la auditoría de parte del Gobierno Federal y de los demás asociados. La principal ventaja es la flexibilidad que se le brinda a la buena marcha del proyecto. Para ésto también se requiere tener la supervisión y la validación de cada una de las etapas, para lo cual se necesita a su vez un Grupo Técnico Nacional del más alto nivel que garantice que los plazos y las promesas, de carácter técnico, que haga el comité ejecutivo que lleva el proyecto se conviertan en realidad. También debe haber un comité asesor internacional que garantice el nivel y la calidad global del proyecto.

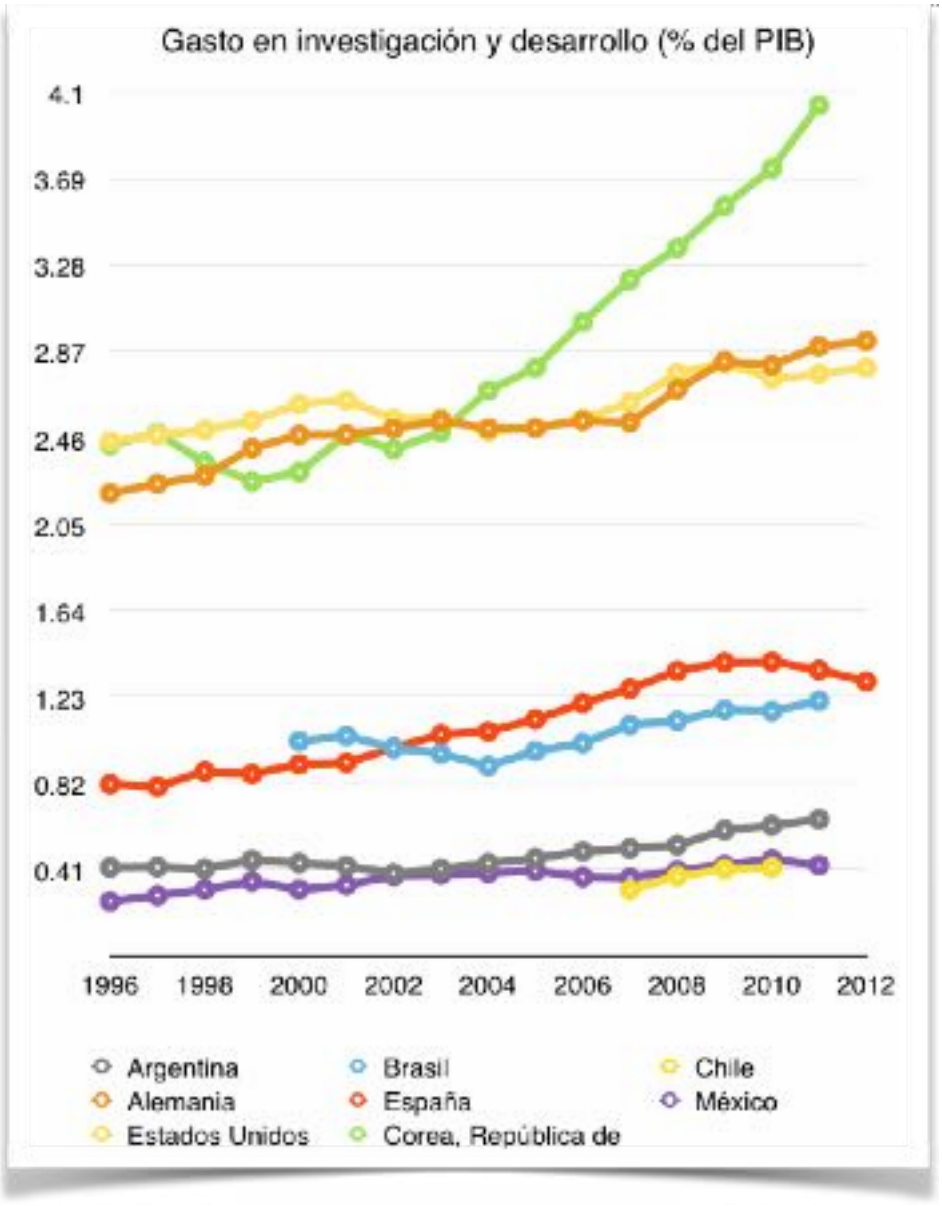
Un punto que ha sido enfatizado por el grupo español que llevo a cabo la etapa de construcción de ALBA, es que uno debería de *licitar el proyecto de construcción* y no simplemente tener una licitación de la construcción del mismo. La ventaja de este procedimiento -que es bastante común en países como el Reino Unido- es que la compañía ganadora no obtiene la construcción en sí, sino que obtiene la supervisión de la obra, con lo cual el consorcio español formado por el comité asesor y el grupo de científicos y técnicos, mantiene el control en todo momento de la subcontratación que, de todas formas, hace una compañía de ingeniería.

El siguiente punto que hay que destacar son los pasos iniciales que se deben dar para tener una fuente de luz sincrotrón en el país

- El proyecto técnico detallado y el proyecto ejecutivo, que estaríamos en condición de iniciar el próximo año, costaría 300 millones de pesos y tardaría 2 años en ejecutarse.
- Se requiere de manera simultánea la construcción y operación de líneas experimentales en FLS ya existentes en el extranjero. Esto llevaría alrededor de dos o tres años para realizarse y tendría un costo, por línea experimental, de entre 10 y 15 millones de dólares en gasto de inversión. La operación de estas líneas costaría un millón de dólares de gasto corriente por año y por línea experimental.
- Por otra parte se necesita en el corto plazo una asociación de los Usuarios Mexicanos con al menos una fuente de luz sincrotrón, éste sería un paso crucial a dar pues garantiza el crecimiento con calidad y la capacitación de científicos, técnicos y personal de gestión nacionales.
- Finalmente un paso fundamental, que hay que dar a la brevedad, es lanzar una convocatoria para la formación de recursos humanos de alto nivel tanto en la parte de operación del acelerador como en la parte de gestión administrativa del proyecto, como en la parte de formación de recursos humanos para tener usuarios que al terminar la construcción de nuestro sincrotrón tengan la posibilidad de explotarlo en toda su potencialidad.

Para terminar, un asunto que es necesario aclarar es que nuestro país tiene un rezago acumulado brutal en la inversión en ciencia, tecnología e innovación. Esto es especialmente claro si observamos la siguiente gráfica qué corresponde a la comparación de la inversión hasta 2010 de nuestro país, que no rebasa el 0.41 por ciento del producto interno bruto en el gasto en investigación y desarrollo de todo el país. En este momento la cifra federal es que tenemos entre 0.55 y 0.6 por ciento del producto interno bruto. La Ley de Ciencia y Tecnología indica que deberíamos de llegar al 1 por ciento. En la siguiente gráfica hay una comparación con otros países donde nuestra inversión en gastos de investigación y desarrollo se parece a la de países latinoamericanos como Chile o Argentina.

En un siguiente nivel se encuentran las inversiones hechas por Brasil y/o España, en donde el gasto en los últimos 20 años va de 0.8 al 1.0% y finalmente hay otro tipo de países a los cuales quisiéramos parecernos para aspirar a un desarrollo económico y social de su nivel, tales como son los casos de Alemania, Estados Unidos y Corea del Sur. El caso de coreano es particularmente relevante porque ha tenido un despegue en su gasto de investigación y desarrollo que en 1996 ya era del 2.5% y en 2012 alcanzó el 4.1%. Ese es el ejemplo que tenemos y hay una gran inversión, hay un gran compromiso, qué debe ser un compromiso del Estado para poder alcanzar esos niveles de investigación y de desarrollo económico.



Considero que no hay tiempo que perder. La fuente de luz sincrotrón mexicana es un proyecto que impulsará y aglutinará la ciencia, la tecnología y la innovación en nuestro país, como lo ha hecho en otros países que han tomado la decisión de construir una instalación de esta naturaleza y, por otro lado, la misma experiencia en múltiples sincrotrones generará un polo de desarrollo y por lo tanto hará que nuestro país camine hacia la sociedad del conocimiento.

Muchas gracias.

Bibliografía

1. J. Bordas et al., The Synchrotron Light Source ALBA , Edition March 2010, Barcelona España.
2. Antonio José Roque da Silva et al., Projeto Sirius, a nova ponte de luz síncrotron brasileña, LNLS, Sirius, lnls.cnpem.br-sirius, Campinas, Octubre 2014.
3. Joan Majó, Ramón Pascual et al., LLS Detailed Design Report, Laboratori de Llum de Sincrotró, December 1997, Barcelona, España.
4. A. Antillón, R. Leo, M. Moreno y M. Napsuciale, Laboratorio Nacional de Aceleradores, Fase de Diseño y Prototipos. Instituto de Física, UNAM, Proyecto Especial DADC-Conacyt, Septiembre 27 de 2011.
5. Erick Vance, Why Mexico can´t make science pay off?, Scientific American, Oct. 2013, p. 67.
6. Reyes Tépach M., El presupuesto Público federal para la FUNCIÓN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN 2014-2015, Dirección de Servicios de Investigación y Análisis, Cámara de Diputados, LXII Legislatura, Febrero 2015.
7. www.lightsources.org
8. CTIndicadores, Programa de Información del Foro Consultivo Científico, Tecnológico A.C., Conacyt, SEP, INEGI, México 2015.

# El Financiamiento de la Ciencia y la Tecnología.

**Jorge Flores.** Instituto de Física, UNAM.

Es ya evidente que si un país quiere estar presente en el mundo actual del conocimiento, debe financiar ampliamente las acciones de ciencia y tecnología. En el caso de México, además, se debe hacer un esfuerzo mayor en estos campos, pues nuestro país llegó tarde a la ciencia.

En los últimos tres años el presupuesto dedicado a la ciencia y la tecnología ha ido en constante aumento y pasa ya del 0.6 por ciento del producto interno bruto. Si las condiciones económicas adversas no afectan este presupuesto, es factible que alcancemos la tan ansiada meta del uno por ciento del PIB hacia el final del sexenio.

Si bien los números son importantes, creo que es crucial definir de manera cualitativa algunos criterios para el financiamiento de la generación de conocimiento.

En primer lugar, los responsables de tomar decisiones deben estar convencidos que el gasto en investigación no es tal, es más bien una inversión. Sin ella, el país no tiene futuro en un mundo tan competitivo y globalizado como el que estamos ya viviendo. Estaríamos condenados a recibir productos y procesos desarrollados en otros países. En otras palabras, México no sería un país independiente.

En segundo lugar, los responsables de tomar decisiones que mencioné antes, no sólo son los dirigentes políticos, tanto del poder ejecutivo como del legislativo, sino también aquellos líderes de la iniciativa privada, que en buena medida son responsables de la industria y de los servicios en nuestro país. En los países más avanzados, dos terceras partes del gasto en ciencia y tecnología provienen de fuentes privadas y el resto tiene un origen público. En México las proporciones son exactamente al revés. En particular, considero que mientras las universidades privadas no dediquen un gran esfuerzo para desarrollar la investigación, el crecimiento científico y tecnológico en nuestro país será pequeño.

En tercer lugar, se deben definir con precisión las prioridades para invertir en ciencia y tecnología. Es decir, debemos definir los nichos de la ciencia mexicana. Los nichos se definen como aquellos campos científicos en donde los investigadores mexicanos puedan hacer contribuciones importantes, tanto desde el punto de vista de la generación de conocimiento a nivel internacional, como por el hecho de que se contribuya a la solución de algún gran problema nacional. Debemos encontrar esos nichos a la brevedad posible.

Dado este problema, el Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República en colaboración con la Academia Mexicana de Ciencias y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, establecieron en 2013 el proyecto HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO.

En este proyecto se analizaron desde tres diferentes perspectivas diez campos del conocimiento. Una de las perspectivas era la disciplinaria, otra la técnica y una tercera la de los problemas nacionales. Así, en la perspectiva disciplinaria se analizó la química, la ciencia jurídica entre otras. Desde la perspectiva técnica se analizó, por ejemplo, la biotecnología, la computación y la óptica.

Y en la tercera perspectiva tratamos temas como el agua, la migración, las adicciones, entre otros diez problemas.

En cada uno de estos treinta temas planteamos al principio dos mesas redondas, una de las cuales tendría lugar en el área metropolitana de la Ciudad de México y la otra en algún estado de la República. Debo decir que tuvimos más éxito del esperado pues varios grupos de trabajo se nos acercaron para que se organizaran más mesas redondas en otros temas. En el año 2013 se organizaron 96 mesas redondas en donde se plantearon líneas de acción específicas. Participaron como ponentes 500 investigadores distinguidos y cerca de 10,000 personas asistieron a las mesas redondas.

Como una segunda fase de este proyecto se han producido ya doce libros en los cuales se publican los trabajos presentados en las 96 mesas redondas. En lo que resta de 2015 se publicarán otros ocho libros.

Estamos ya en una tercera fase del proyecto HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO. Ésta consiste en una serie de reuniones con alrededor de sesenta expertos, en las cuales se definen con mayor precisión los nichos de la ciencia mexicana. Hasta ahora hemos tratado el caso de la química, de la física, la ingeniería y las adicciones. En lo que resta del año, trataremos con el agua, las agrociencias, las telecomunicaciones, las ciencias sociales, la ingeniería otra vez, y algunos problemas básicos de la medicina mexicana. Toda esta información la haremos llegar a los líderes de nuestro país.

En la reunión nacional que se hizo sobre la física, se trató en particular el punto que hoy nos ocupa. Se discutió la posibilidad de tener una fuente de luz sincrotrónica. Los sesenta expertos ahí reunidos estuvieron de acuerdo en que este aparato sería muy importante no sólo para el desarrollo de la física sino también de la química, la biomedicina y, lo que tal vez sea más importante, para generar innovación en nuestro país.

Esto me lleva a una cuarta consideración de carácter cualitativo para definir el financiamiento de la ciencia y la tecnología: el llevar acabo grandes proyectos de investigación. Estos grandes proyectos no restarán fondos a proyectos menos ambiciosos sino al contrario, aumentarán su financiamiento. En el caso de la fuente de luz sincrotrónica esto es casi obvio, pues con este aparato se pueden dar muchos servicios a muy diversos centros de investigación y a la industria en general.

En resumen, el financiamiento de la ciencia y la tecnología en México debe llegar pronto al 1% del PIB; multiplicar sus fuentes, en particular accediendo a las empresas privadas; deben establecerse prioridades en los nichos y, finalmente, definir algunos grandes proyectos.

# Proyectos Nacionales de Ciencia y Tecnología, ¿Cómo se Construyen e Implementan?

**Rafael Pérez Pascual.** Instituto de Física, UNAM.

En esta ponencia se contempla el proyecto de construcción de una fuente de luz de sincrotrón desde la perspectiva de un proyecto nacional de ciencia y tecnología. Se comenta sobre el significado que debe darse a la idea misma de proyecto nacional de ciencia y tecnología y se encuentra que el proyecto posee esas características.

Un proyecto nacional de ciencia y tecnología es aquel que reúne una serie de características que lo hacen ciertamente relevante para la nación, veamos cuales son estas.

Impacta a una gama amplia de campos de la investigación científica, tecnológica y a la producción misma.

Persigue un objetivo u objetivos de investigación o desarrollo que resultan de interés nacional.

Fomenta la participación de empresas nacionales en la fabricación especializada de componentes, en la construcción de instalaciones complejas y en la prestación de servicios, y todo ello requiere que dichas empresas hagan investigación para la innovación y adopten prácticas novedosas, lo que contribuye al desarrollo de la capacidad productiva del país.

Los montos de la inversión y/o los apoyos de carácter no económico que requiere el proyecto hacen necesaria la participación del Estado.

Implica el que la nación asuma el proyecto como propio, no solo que lo financie. La nación, al hacerlo suyo, adquiere también el compromiso de llevarlo a cabo y aporta la capacidad política y organizativa que lo hacen posible; esto complementa a lo puramente técnico, pero resulta indispensable e integra el proyecto a las lineas y acciones generales del desarrollo nacional.

No tenemos en México muchos ejemplos de lo que, en el ámbito del desarrollo científico y tecnológico, pudieran ser considerados proyectos nacionales. Podemos mencionar como ejemplo singular al sistema de Institutos Nacionales de Salud, proyecto centrado en el fomento a la medicina científica, a la investigación médica y a la repercusión de todo ésto en la práctica de los servicios de salud. Inicia en los años 30 y 40 del siglo XX de manera un tanto espontánea entre la comunidad de médicos, se consolida en los años 70 con la adopción, por la Secretaría de Salud, de una política de desarrollo de la medicina en la que se les otorga a estos institutos un papel relevante y hoy, coordinados por esa secretaría, conforman un gran aporte a la investigación, a la formación de especialistas y en general a la salud de la nación; es importante señalar que esto los hace figurar como uno de los más apreciados contribuyentes a la formación de un orgullo científico nacional.

No tenemos tampoco una fuerte experiencia en los procesos institucionales que llevan a la generación, adopción y ejecución de proyectos nacionales de ciencia y tecnología. Este tipo de experiencia no se adquiere más que en la práctica la que, naturalmente, ha sido escasa y, en ocasiones, cerrada y poco participativa. Esto es algo que hay que considerar para hacer el análisis de una propuesta de proyecto, desde luego no en el sentido negativo, sino en el positivo: todo proyecto que se propone puede contribuir a incrementar la experiencia en los procesos de toma de decisiones y de ejecución, así se abren caminos en beneficio del propio desarrollo nacional.

Creo que el simple hecho de que estemos hoy en esta casa de la democracia mexicana presentando el proyecto de dotar al sistema científico-tecnológico de una fuente de luz sincrotrón,

es ya una experiencia en ese sentido y muestra como la Nación tiene caminos abiertos e interés en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

Habiendo resumido lo que entiendo por un proyecto nacional de ciencia y tecnología, paso a analizar el caso de interés en este foro: el proyecto de construcción de una fuente de luz de sincrotrón que de servicio a múltiples áreas de investigación, desarrollo y producción que la requieren.

No he de repetir aquí lo ya dicho por varios de los ponentes anteriores en cuanto a la repercusión que el acceso a una fuente de luz de sincrotrón tiene para muchos campos de investigación y desarrollo de importancia nacional. Si deseo destacar la diferencia que para todos estos campos tendría el acceso a una fuente propia y nacional, en comparación con el acceso a fuentes en el extranjero sujetas a políticas de prioridades, acceso y uso que no son necesariamente las nuestras. Una fuente propia nos permite orientar en términos de programas y políticas generales de desarrollo del país el fomento al uso de la fuente y la generación de nuevos proyectos que, el simple hecho de tenerla, hace posibles. Es la gran flexibilidad y el amplísimo campo de sus aplicaciones lo que hace atractivo el contar con una fuente propia, es un medio adicional a los ya establecidos para apoyar la instrumentación de políticas nacionales de desarrollo científico y tecnológico: ésto le da relevancia nacional al proyecto.

La construcción de un fuente de luz de sincrotrón es un reto para el País, hay muy escasas experiencias de construcción de instrumentos técnicamente tan complejos como el que se propone, esto le da al diseño y construcción de la fuente el carácter de un proceso de investigación e innovación que, por sí, tendría enormes repercusiones en términos de adquisición de experiencia y formación de personas en el más alto nivel.

El diseño y construcción de la infraestructura propia del proyecto requiere de la investigación y la innovación en campos de importancia científica y tecnológica, por lo que genera conocimiento, experiencia y contribuye a la formación de personas en campos de importancia para el desarrollo nacional. La construcción de la fuente de luz es por si misma un objetivo de investigación y desarrollo de interés nacional.

El diseño y construcción de la fuente, así como su futura operación, requerirá de la participación de muchas personas y empresas, tanto nacionales como extranjeras, incorporadas a un proyecto tecnológico complejo, esto fomentará el desarrollo de empresas de tecnología avanzada en el País.

La inversión del orden de varios cientos de millones de dólares, así como la multitud de apoyos no financieros que se requieren, hacen indispensable la participación del Estado.

La construcción y operación de un servicio para la investigación y el desarrollo de la magnitud de la fuente que se propone requiere del impulso y la aglutinación de intereses e instituciones que solo se puede dar si se le identifica como algo de interés nacional, y, por tanto, como un proyecto nacional que obedece a una visión general de desarrollo que cuenta con el compromiso del Estado en ciencia y tecnología.

Dejo aquí mi argumento en torno al carácter nacional del proyecto, considero que la construcción de una fuente de luz de sincrotrón debe entenderse como un proyecto nacional y como tal debe analizarse y, en su caso, impulsarse, financiarse y conducirse.

Ahora, como decíamos, es poca la experiencia que como país tenemos en el proceso de análisis y toma de decisiones en el ámbito de los proyectos nacionales de carácter científico y tecnológico. Las decisiones sobre un proyecto como el que tenemos aquí no se pueden dar en un solo acto de decisión, hay etapas que cumplir y una primera es la del interés nacional por el proyecto. Como he dicho considero que el proyecto a alcanzado las características y la madurez que nos permiten considerarlo como de interés nacional y por tanto asumirlo como tal e iniciar los procesos que nos lleven a su desarrollo.

Por otro lado un proyecto como el presentado debe pasar por una etapa de planeación y diseño específico que culmine con la obtención de un proyecto ejecutivo, esto es, una descripción detallada y precisa de las especificaciones del proyecto, de los planos constructivos, de los procesos de construcción, de un plan de ejecución, de un presupuesto estructurado y de las instancias que intervendrán en la construcción. Es solo con el sustento de un proyecto ejecutivo

que puede tomarse racionalmente la decisión final de iniciar la construcción; esto es claro, esa decisión se toma una vez que se conoce con todo detalle que se va a construir, cuales son sus especificaciones y cuales son los requerimientos financieros y los apoyos de carácter no económicos que se requieren.

Para un proyecto de la naturaleza del que se presenta, la elaboración de un proyecto ejecutivo es sumamente complejo y requiere de una inversión que es del orden de un quince o veinte por ciento del costo total del proyecto; pero sin ese proyecto ejecutivo no se puede ni se debe decidir dar inicio a la construcción. Es la elaboración misma del proyecto ejecutivo la que constituye el proceso principal que lleva a la decisión de construir, esta no debe estar tomada de antemano, ya que el interés nacional mostrado es solo general con la idea del proyecto y no con las especificidades del mismo, es más, es tarea de todos el ir definiendo y especificando ese interés general en el proyecto ejecutivo, por lo que este debe verse como la convergencia del interés nacional con la definición concreta y detallada del instrumento y de su operación.

Así la decisión que corresponde a la etapa del proyecto en que hoy estamos es la de iniciar la elaboración de ese proyecto ejecutivo, la de darle institucionalidad y financiamiento al proceso participativo de planeación que nos lleve a un proyecto ejecutivo que refleje con precisión el interés de la nación.

El tomar la decisión correcta en el tiempo correcto es lo que nos lleva por el camino de la conclusión exitosa de cualquier proyecto, creo que es el tiempo de decidir que la construcción de una fuente de luz de sincrotrón es un proyecto de interés nacional y que debe, por tanto, darse inicio a la elaboración del proyecto ejecutivo y aprobarse el financiamiento respectivo.

Antes de terminar deseo dar una visión adicional propia de un proyecto de la naturaleza del que hoy nos ha convocado. Nuestro país esta pasando por tiempos muy difíciles en los que nos vemos abrumados por un muy triste acontecer cotidiano, lleno de malos augurios y de sensaciones de impotencia. Mucho del orgullo nacional se ve deteriorado por la ominosa presencia de las vergüenzas nacionales que nos fragmentan y que diluyen el ser de la nación. Por sobre ésto hay esperanzas como la que hoy se presenta en este foro del Senado de la República, un noble proyecto que, sin duda, se sustenta en una visión optimista del futuro, de un futuro de progreso, de un México que resuelve sus problemas, que deja atrás la ignominia del crimen y se ve dedicado a la ciencia y al progreso. La construcción de esta fuente de luz de sincrotrón es un proyecto nacional no solo por lo ya argüido, lo es por ser una manera optimista de ver el futuro, porque fomentará la unión de todos en torno de un proyecto noble y porque será una fuente de luz que contribuirá a reforzar nuestro orgullo de ser mexicanos.

# Clausura.

## Senadora Luz Ma. Beristain Navarrete.

Vamos a pasar a la entrega de los reconocimientos que el Senado de la República ha preparado para todos ustedes los ponentes que hoy nos acompañan y que engalanan el trabajo del Senado de la República.

Paralelamente en el pleno del senado se está llevando a cabo, como ustedes ya saben, la comparecencia del secretario de educación, del nuevo secretario educación que es Aurelio Nuño y bueno, varios compañeros que se fueron de acá se llevaron la encomienda de hablar con él de este tema porque estamos muy motivados los que hoy estuvimos aquí y tenemos el firme compromiso de que si nos están haciendo el gran honor ustedes de compartir este gran experimento este gran proyecto con nosotros, también debemos de abrazarlo con todo para darle la difusión que debe de tener para que logremos las mayorías que requerimos.

Qué bueno como dice Brenda, entre nosotros hay personas que tienen derecho a disentir, no necesariamente puede ser genuino, hay campañas mediáticas en el país, orquestadas por intereses ajenos al avance, a la evolución, a la educación. Hay por ahí quienes aseguran, aquí en la tribuna del senado, que las cartas de intención que este país ha firmado con el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial de Desarrollo, hay ciertos compromisos plasmados de que no le vamos a dar la inversión necesaria a todo lo que es ciencia, tecnología, educación. Aquí se dice mucho en la tribuna, ¿por qué en los últimos 40 años Corea creció, se detonó, Corea está extraordinario y maravilloso y nunca me imaginé que estuviera así. Nos tocó hacer una gira de trabajo para la vinculación legislativa hace unos meses y quedé gratamente sorprendida de ver el crecimiento y platicaba yo con el Dr. Matías, curiosamente el mismo tiempo que Corea se ha tomado en generar un progreso, son los mismos años en que este país ha frenado, un poco se ha resistido a ser parte de estos países que innovan, que le apuestan a la investigación. Usted dice, cuando yo salí de la escuela de física, se decía que la meta era el 1% del PIB, era lo deseable, yo me acuerdo de este dato desde que yo salí de secundaria.

De verdad a mi me da muchísima vergüenza. Por un lado me da muchísimo gusto estar hoy aquí en el Senado de la República y poder ser parte de este proyecto porque, si ustedes me lo permiten, yo quiero ser parte de esta campaña mediática para contrarrestar los efectos nocivos que eventualmente puedan tener porque igualmente son saludos aislados de la oposición que deben ser siempre bien vistos. No tenemos por qué querer que todo sea homogéneo en este país, hay que respetar la heterogeneidad y la diversidad y respetar a las voces que disientan en un momento dado, pero si es un poco de llamar la atención que haya un consenso cuando se trata de irnos para arriba, cuando se trata de evolucionar, de dar un salto y de llevar a este país a salir del estancamiento y del atraso y de la ignorancia.

Aquí en este país lamentablemente muchos han lucrado con la ignorancia y a muchos les interesa que sigamos en niveles muy bajos de aprendizaje, de ignorancia, porque es más fácil llegar a comprar una serie de voluntades a la hora que se requieren generar ciertos procesos para perpetuar los liderazgos que existen en el país. Pero esta en la casa del federalismo. Esta es la casa donde habemos un buen número de compañeros somos 128 senadores, y un buen número de ellos, si no es que todos, le apuestan al crecimiento del país. No le vamos apostar a los frenos o a las resistencias normales que pueden haber en una democracia. Somos una democracia y

tenemos que respetar a todas las voces y, eventualmente hay voces muy conservadoras que pudieran tenerle miedo al progreso también, que pudieran pensar que no es necesario, pero si supieran que los hospitales, esas clínicas y esas escuelas estarían de primer mundo si pudriéramos generar los cinco sincrotrones que nos merecemos como país porque los Mexicanos somos gente trabajadora, somos las gente a la que se le debe apostar con todo y para todo, que se nos dejara de tratar como personas de quinto mundo o del inframundo, que no nos merecemos que haya una inversión adecuada en todo lo que se refiere a todo nuestro crecimiento, que eso tendría mucho que ver con el crecimiento de nuestras conciencias porque cuando México de ese salto tecnológico, muy seguramente también la conciencia de los mexicanos se va a elevar a un plano muy superior en el que no nos vamos a dejar y no vamos a permitir que nadie nos venga a ponga reglas que tienen que ver con generar un freno al desarrollo de este país, que dentro de este mercado internacional que se ha convertido la Comunidad Internacional de Naciones, porque yo siento que hoy por hoy se rige todo por una especie de demanda y oferta. Estamos inmersos en un concierto de naciones, en un planeta donde hay muchos países, pero siento que se ha vuelto un mercado en el que se rige en gran medida por la oferta y la demanda y no todo puede venderse, y no todo puede comprarse.

No todo es materialismo, no todo es cuestión monetaria, material, y ésta es una cuestión que ayudaría muchísimo al desarrollo de la intelectualidad de los mexicanos, que también la requerimos, de el nivel de educación porque este discurso tan obsoleto hoy es más vigente que nunca. Yo tenía 20 años de edad, estoy apunto de cumplir 55 años de edad, y a los 20 años de edad era el mismo discurso pero yo me doy cuenta que hoy está más vigente que nunca y es más urgente que nunca. “México tiene que salir del subdesarrollo, porque si México no le apuesta a salir del subdesarrollo, seguiremos tratados como una nación tercermundista…”, y ahora está peor porque hay naciones como Corea, que sí estaban en el subdesarrollo y que si lograron salir. Nosotros hace 40 años todavía vivíamos parte del milagro mexicano donde la sustitución de importacionestpdavía era importante, todavía teníamos muchas paraestatales que fueron rematadas, regaladas a una serie de amistades, de parientes y de conocidos que estaban funcionando perfectamente bien y la inversión pública era muy generosa y había un desarrollo humano en México grande. Muchas personas venimos de universidades públicas, yo vengo muy orgullosamente de la UNAM y nosotros tenemos que ser capaces de generar, paralelamente a este desarrollo del proyecto ejecutivo, tenemos que poder desarrollar a esa cantidad de expertos en la materia que puedan trabajar porque aquí están claros los argumentos y son como 17,000 o 20,000 fuentes de empleo que generaría de manera directa e indirecta el poder aterrizar este proyecto del sincrotrón.

Yo creo que es sumamente rentable para nosotros, para el país, no hay duda alguna que salir del subdesarrollo es algo que nos conviene a todos y yo prometo generar una campaña con mis compañeros que estuvieron aquí y que lo percibieron, vamos a repartir la información. Creo que eventualmente podemos incluso generar en el momento que ustedes lo consideren, incluso una recopilación de firmas de toda la comunidad universitaria, de académicos, de investigadores, de científicos. Pero igual aprovechando el presupuesto cero que dijo el senador Corral, igual y logramos sensibilizar a Videgaray, al mismo Peña Nieto. Pudiéramos apostarle a esa posibilidad de que ellos entiendan que trascenderían si le invierten a un tema como éste y México dejaría de ser visto en la ONU, cuando ellos van a dar sus discursos a la ONU, dejaría de ser visto como un país secundario. Queremos que México sea visto como un país primario, pujante, capaz de generar este tipo de acciones que nos unirían porque hoy una serie de vergüenzas nacionales que no vamos a hablar de ellas porque ni es el caso pues hay que superar esas situaciones y México tiene que volver a esa época en que fue grande.

Eramos creadores del cine mexicano que exportábamos y de muchas cosas más. En su momento México ha tenido muchas cosas que hemos sido capaces de exportar. Éramos el hermano mayor de América Latina y nos tomaban de ejemplo y todo mundo quería venir a México pues era la gran

capital de América Latina. Hoy no es mucho así, están pasando una serie de circunstancias y de problemas que nos han hecho descender en todos los niveles, pero esta es una gran oportunidad, esta crisis es una gran oportunidad para que entre todos generemos esa campaña de concientización, de difusión y que nos pongamos un objetivo.

Faltan tres años para concluir esta legislatura que recién iniciamos y podríamos ponernos el objetivo de vernos periódicamente, a lo mejor un foro anual, o si logramos ésto, en este presupuesto, bueno pues ya nos vamos a ver pero para celebrar y para saber quién va a realizar el proyecto ejecutivo, cómo se va a realizar, en cuanto tiempo se va a aterrizar y cuando estaríamos inaugurando la primera fase del sincrotrón. Pero al menos yo sí hago el compromiso con ustedes y les agradezco muchísimo que hayan confiado en nosotros, en mi equipo, en Ángel que quiero pedir de verdad un aplauso para este muchacho, porque ellos me ayudaron a sensibilizar a la maestra Leticia Navarrete de Cuernavaca que fue la que me abrió los ojos. Un día a las seis de la mañana me habló y me dijo, “Tienes que escuchar al maestro Armando Antillón y tenemos que llevar este proyecto al senado”. De verdad Letti, muchísimas gracias porque este es un gran proyecto y abanderar un proyecto como este, de verdad nos reinventa a los senadores, nos reinventa a los legisladores. Nosotros tenemos que estar cercanos a las personas que están produciendo cosas tan importantes para nuestro país como ésta. Gracias y hago el compromiso frente a todos ustedes de que no les vamos a fallar y que por nosotros no va a quedar.

Gracias.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINCROTRÓN MÉXICO

# PLAN ESTRATÉGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SINCROTRÓN EN MORELOS.

## ANEXO:

## Visita a Sincrotrones Europeos

# *ALBA/Barcelona*

23 de noviembre 2015

**Comitiva de México y Agenda de Actividades**

ALBA
SYNCHROTRON LIGHT SOURCE

Ctra. BP-1413, Km. 3.3
08290 Cerdanyola del Vallès
Barcelona - Spain

Tel. (+34) 93 592 4300
Fax (+34) 93 592 4301
www.albasynchrotron.es

**ALBA-MSRSP meeting**

*ALBA Synchrotron and the Project of the Mexican Synchrotron Radiation Source*

23 November 2015

*Participants*

**ALBA Management Board:**

Caterina Biscari *(Director)*, Joan Casas *(Head of Engineering Division)*, David Fernandez *(Head of Computer and Control Division)*, Salvador Ferrer *(Scientific Associate Director)*, Gaston Garcia *(Deputy Director)*, Ramon Pascual *(Executive Commission Chair)*, Francis Perez *(Head of Accelerator Division)*, Alejandro Sanchez *(Head of Industrial and Project Office)*, Mariano Sazatornil *(Account Manager)*. Excused: Miguel Angel Garcia Aranda *(Scientific Director)*

**Mexican Committee:**

Armando Antillón Diaz *(Universidad Nacional Autónoma de México, Member of RedTULS, MSRSP Accelerator Project Staff)*, Guadalupe de la Rosa Álvarez, *(Universidad de Guanajuato, Head of Mexican Synchrotron Radiation Users Network (RedTULS))*, Juan Carlos Fierro González *(Instituto Tecnológico de Celaya, Member RedTULS, Head of the Mexican Synchrotron Light Users Association (AMDEUS))*, Fernando Matías Moreno Yntriago, *(Universidad Nacional Autónoma de México, Member of RedTULS, Head of the MSRSP)*, Ibrahim Serroukh *(Universidad Autónoma de Querétaro, Member of RedTULS, MSRSP Advisor)*, Brenda Valderrama Blanco *(Secretary of Innovation, Science and Technology of Morelos State, Mexican Synchrotron Radiation Source Conacyt-Morelos State, Project (MSRSP) promotor)*, Tomás Viveros Garcia *(Universidad Autónoma Metropolitana, MSRSP Stategic Planning Project Staff)*

**AGENDA**

*9:00 – Pick up of Mexican delegates at Hotel Actual, Barcelona*

*9:30 – Arrival to ALBA and visit to the tunnel*

*10:00 – Meeting in the Marie Curie Room*

10:05 – Welcome and ALBA general description - Caterina Biscari

10:30 – ALBA Phase II and III – Gaston Garcia

*11:00 – Coffee break (1st floor)*

11:30 – Status of MSRSP – t.b.a.

*12:00 – Visit to the installations*

*13:30 – Lunch at ALBA cafeteria*

14:30 – Discussion on collaboration scenarios

16:00 – Close out

*20:30 – Dinner in Barcelona, Restaurant Terra Ca La Nuri*

*(Consell de Cent 377. Barcelona. Tel. 932 155 523)*

**Visita al Sincrotrón ALBA**

Se tuvieron reuniones con Caterina Biscari (Directora), Joan Casas (Jefe de Ingeniería), David Fernández (Jefe de Computación y Control), Salvador Ferrer (Director Asociado), Gastón García (Director Ajunto), Ramón Pascual (Presidente de la Comisión Ejecutiva), Francis Pérez (Jefe del acelerador), Alejandro Sánchez (Jefe de Proyectos Industriales), Mariano Sazatornil (Director Administrativo).

El personal y las autoridades de esta fuente de luz estuvieron en la mejor disposición de colaborar y dar soporte al proyecto de la fuente de luz mexicana en relación a formación de recursos humanos y asesoría técnica. De hecho en este proyecto están participando dos doctores que han hecho una estancia de un año en ALBA. La administración de ALBA está también sumamente interesada en que usuarios mexicanos puedan incorporarse a los experimentos en las diversas líneas experimentales así como a participar en la creación de nuevas líneas.

Localizado en el Campus de la Universidad Autónoma de Bercelona, ALBA es operado por la empresa pública CELLS (Consorcio para la construcción, equipamiento y explotación del laboratorio de luz sincrotrón). Hasta el momento los únicos socios con el Gobierno Central Español y la Generalitat de Cataluña con un 50% de acciones cada uno. El costo del proyecto inicial fue de 212 millones de Euros, equivalentes en su momento a 312 millones de US dólares (donde el terreno corresponde al 10% del total.

Su costo de operación es de 18 millones de Euros anuales y provienen de presupuesto de gobierno en partes iguales de fondos centrales y del gobierno de Cataluña. Recientemente se abrió la oportunidad de inversión como entidad externa en la construcción de líneas con dos modalidades. Como Socio Externo donde el asociado es el titular de las instalaciones y equipos de la línea así como con el personal que se contrate para su servicio y como Socio Interno donde CELLS es el titular de la línea y del personal contratado. Como compensación el asociado tendrá disponibilidad de tiempo de luz en la línea en cuestión y en otras existentes sin exceder el 10% en este último caso.

El anillo de aceleración es de 269 m de circunferencia y 3 GeV. Actualmente ALBA cuenta con 7 líneas funcionando y se encuentra en fase de instalación de 2 líneas más que estarán disponibles en 2016-2018, y un total de 14 estarán operando en 2021.

**Visita a MASTER**

Se tuvieron reuniones con Antonio Merino (Presidente Ejecutivo), Antonio Merino Jr. (Director Ejecutivo), Joan Bordas (Diseñador en jefe del acelerador de ALBA), Agustín Piera (Director Técnico).

MASTER fue el consorcio de diseño e ingeniería que ganó el concurso para el diseño arquitectónico y de ingeniería de ALBA en 2004-2005. Posteriormente fue asignado con el proyecto de seguimiento de obra de la batería de contratistas que fueron contratados para la construcción y equipamiento del sincrotrón.

Durante todo el proceso de diseño y construcción se creó un equipo de trabajo entre Master y el entonces Director de CELLS Joan Bordas que permitió la conclusión de la obra en tiempo y forma. Este mismo equipo se encontraría en disponibilidad de participar, a título personal o institucional, en las diferentes fases del proyecto mexicano.

# *ESRF/GRENOBLE*

19 a 21 de noviembre 2015

**Comitiva de México y Agenda de Actividades**

ESRF

science campus

Visit of

**Brenda Valderrama Blanco**
Secretary of Innovation, Science and Technology of Morelos State,
Mexican Synchrotron Radiation Source Conacyt - Morelos State Project (MSRSP) promotor

**Guadalupe de la Rosa Álvarez**
Head of Mexican Synchrotron Radiation Users Network (RedTULS)

**Fernando Matías Moreno Yntriago**
Universidad Nacional Autónoma de México. Member of RedTULS and Head of the MSRSP

**Tomás Viveros García**
Universidad Autónoma Metorpolitana. MSRSP Strategic Planning Project Staff

**Armando Antillón Díaz**
Universidad Nacional Autónoma de México. Member of RedTULS.
Head of the MSRSP Accelerator Project Staff

**Juan Carlos Fierro González**
Instituto Tecnológico de Celaya. Member of RedTULS.
Head of Mexican Synchrotron Light Users Association (AMDEUS)

**Ibrahim Serroukh**
Universidad Autónoma de Querétaro,Project Direction of RedTULS and MSRSP Advisor

21 November 2015

*Presentations in room 500, Central Building*

| | | |
|---|---|---|
| 09:45 | Welcome Coffee | |
| 10:00 | Presentations: | |
| | Facts and figures of the ESRF | by F. Sette *(30 minutes)* |
| | Science at the ESRF | by H. Reichert *(40 minutes)* |
| 11:10 | Discussion | |
| 11:30 | Guided tour: | |
| | ID01: *Microdiffraction imaging beamline* | ID30: *Macromolecular crystallography beamline* |
| | ID32: *Spectroscopy beamline* | ID24: *Energy Dispersive X-ray Absorption Spectroscopy beamline* |
| | ID31: *High-energy beamline* | ID21: *X-ray and FTIR Microscopy beamline* |
| 13:00 | Lunch | |
| 14:30 | Presentation: Models for the establishment of a formal collaboration with the ESRF | by I. Echeverría *(15 minutes)* |
| 14:45 | Discussion, conclusions and establishment of next steps | |
| 16:30 | Departure by taxi to hotel | |
| 19:45 | Taxi pick-up at hotel | |
| 20:00 | Dinner at : l'Epicurien, 1 Place aux Herbes Grenoble *tel. 04 76 51 95 06* | |

## ESRF Participants

| | |
|---|---|
| Francesco Sette | Director General |
| Harald Reichert | Director of Research |
| Luis Sánchez Ortiz | Director of Administration |
| Pantaleo Raimondi | Director of Accelerator and Source Division |
| Itziar Echeverría | Secretary of ESRF Council, Head of DG Office |
| Ed Mitchell | Head of Business Development Office |
| Hiram Castillo Michel | Scientist on beamline ID21 |

# Actividades

Se tuvieron reuniones con Francesco Sette (Director General), Harald Reichert (Director Científico), Itzair Echeverría (Secretaria), Pantaleo Raimondi (Director de Operaciones del Acelerador), Luis Sánchez (Director de Administración), Ed Mitchell (Jefe de la Oficina de Desarrollo de Negocios).

ESRF es una empresa pública de participación multinacional localizada en el Campus Científico Fotón y Neutrón. Sus principales accionistas con Francia, Alemania, Italia, Reino Unido, Rusia y otros. Existen diferentes niveles de participación accionaria: Miembros (mínimo de 4% de participación) y Asociados (1 a 3.99% participación). Para participaciones menores al 1% se utiliza la figura de Asociado a Mediano Plazo. Los miembros tienen acceso proporcional a su inversión en tiempo de uso de línea preferencial para sus proyectos, acceso total a los planos y diseños de desarrollos propios y asesoría para la adaptación de dichos diseños. Los asociados solamente tienen acceso proporcional en tiempo de uso de línea y acceso parcial a planos, diseños y asesoría. Los asociados de mediano plazo solamente tienen acceso proporcional al tiempo de uso de línea. La magnitud de la inversión se obtiene al dividir el costo de operación anual más una bolsa de inversión para actualizaciones del acelerador entre todos los socios. Actualmente el presupuesto es de 100 millones de Euros de los cuales 2 millones provienen de la venta de servicios y productos a la industria. Los investigadores de países socios cuyos proyectos hayan sido aprobados por el comité científico reciben reembolso de sus gastos de viaje en la proporción acordada en cada convenio.

El anillo de aceleración es de 844 m y 6 GeV. Actualmente el ESRF cuenta con 43 líneas en operación de las cuales 30 son públicas y 13 operadas por países miembros. Se encuentra en curso una actualización de líneas que adicionará 19 laboratorios. A mediano plazo se tiene planeada una actualización mayor del acelerador que tendría cerradas las instalaciones de enero de 2019 a agosto de 2020.

Después de discutir el proyecto del Sincrotrón Mexicano, la directiva de ESRF estuvo dispuesta a emitir un documento donde se declarara oficialmente la viabilidad y pertinencia del proyecto así como su disponibilidad para participar en el Comité Científico Internacional del proyecto. Este documento se presenta a continuación.

**EUROPEAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY**
INSTALLATION EUROPÉENNE DE RAYONNEMENT SYNCHROTRON

ESRF

*F. Sette*
*Director General*
*Tel: +33 (0)4 76 88 22 24*
*Fax:+33 (0)4 76 88 24 18*
*E-mail: sette@esrf.fr*

Lic. Graco Luis Ramírez Garrido Abreu
Gobernador Constitucional del Estado de Morelos
Palacio de Gobierno
Plaza de Armas s/n Col. Centro
62000 Cuernavaca, Morelos
Mexico

Dr Enrique Cabrero Mendoza
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología – CONACYT
Av. Insurgentes sur, 1582, Col. Crédito Constructor
Del. Benito Juárez, 03940, México D.F.
Mexico

*Our ref.: FS/kc/15.307*

10 December 2015

Dear Sirs

My fellow Directors and I greatly appreciated the visit to the European Synchrotron Radiation Facility of Profs Valderrama Blanco and Moreno Yntriago and their accompanying delegation of representatives of the Mexican users' and scientific community of accelerators on Saturday 21 November 2015. This proved to be an excellent opportunity to exchange with them on the scientific and technical aspects of the project of the construction of a synchrotron radiation facility in Mexico. It was particularly interesting for my colleagues and I to identify with them the possible paths for developing cooperation with the Mexican scientific community and to learn about the immediate objective of strengthening the plans in terms of human capacity to ensure the efficient construction, operation and maintenance of the future Mexican synchrotron facility.

I hereby acknowledge the following:

1. We are impressed by the level of maturity of the project from all aspects, including: i) the scientific case and the enthusiastic involvement of the Mexican users' community and its organisations, ii) the state of development of the technical case and the efforts that are being made to finalise rapidly the key specifications of the future light source in terms of lattice design, machine parameters, type and number of beamlines, needs of the facility in terms of logistics for operating it efficiently and for supporting the users when accessing it to carry out the experimental programme, and the ancillary laboratories and facilities required for ensuring a users' programme to ensure success in the long term, and iii) the ongoing ideas on the governance model to be adopted to best manage and administrate the facility for the benefit of the scientists from Mexico and abroad.

2. The reciprocal interest to develop, in the short term, a more articulated and productive exchange between the Mexican community and the ESRF. This could include actions to open up access to ESRF beamlines for the Mexican community, to envisage programmes for training and staff exchanges on all aspects of synchrotron radiation instrumentation and accelerator technologies, as well as increased exchanges on facility management and operation issues.

We are very interested and excited to explore paths for cooperation, and are ready to provide full support in the ongoing negotiations with the funding agency. We consider that the case for a Mexican synchrotron source is ready to enter into an active implementation phase, and we hereby support the development of a full scale Technical Design Study of the envisaged facility, and training and support actions aiming to prepare and strengthen the Mexican synchrotron user community.

I hope that further exchanges between the ESRF and the Mexican scientific community can develop in the near future.

Yours faithfully,

Francesco Sette
Director General

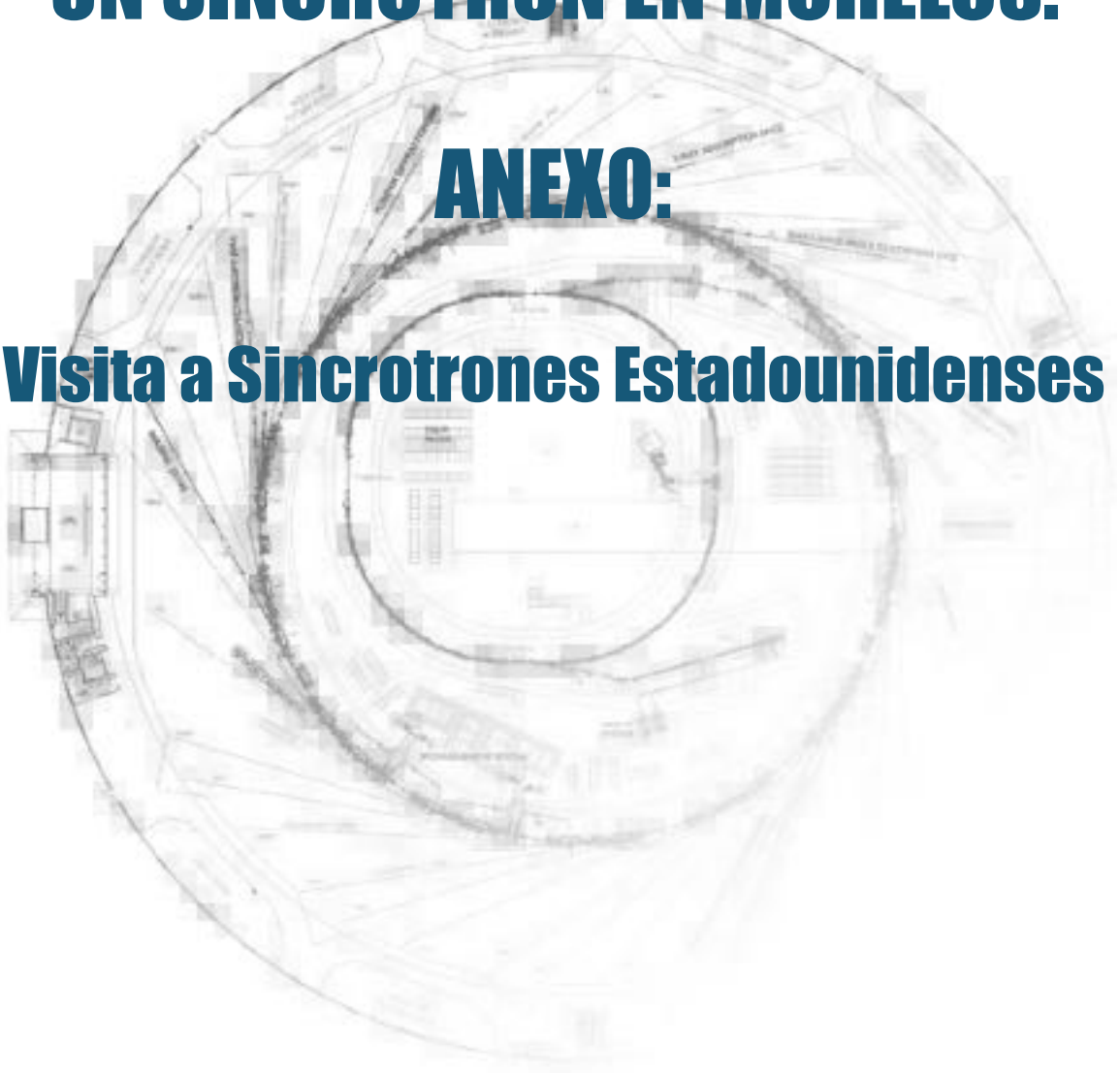
*copy:*

*Brenda Valderrama Blanco*
*Fernando Matías Moreno Yntriago*
*Guadalupe de la Rosa Álvarez*
*Juan Carlos Fierro González*
*Itziar Echeverría Vegas*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINCROTRÓN MÉXICO

# PLAN ESTRATÉGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SINCROTRÓN EN MORELOS.



## ANEXO:

## Visita a Sincrotrones Estadounidenses

# *NSLS-II*

29 de febrero y 1º. de marzo 2016

**Comitiva de México**

Matías Moreno (Instituto de Física, UNAM), Armando Antillón (Instituto de Ciencias Físicas, UNAM-Morelos)

**Actividades**

La agenda propuesta fue la siguiente:

| when | Event | who | where |
|---|---|---|---|
| Sun, Feb 28th | | | |
| 5:00pm | Dinner | Vivian Strojanov, Timur Shaftan, Helio | near |
| Mon, Feb 29th | | | |
| 8:30-9:30am | Registration at bldg. 400 | | |
| 9:30am | Introduction | Vivian, Ferdinand, Timur | 4L129 or 4L131 |
| 10:30am | Meeting with J. Hill | J. Hill | LOB 5 |
| 11:00am | Seminar | Matías y Armando | 4L165 |
| 12:00pm | lunch | all | |
| 1:30pm | Meeting with Q. Shen | Q. Shen | LOB 5 |
| 2:00pm | Tour of Control Room | G. Wang | LOB 4 |
| 3:00pm | Discussion with Accelerator Physics group | V. Smalyuk | 4L165 |
| 4:00pm | Tour of Pulsed Magnet Lab | Timur | bldg. 820 |
| 4:30pm | Tour of Insertion Device Lab | Toshi | bldg. 821 |
| 6:00pm | Dinner | F. Willeke, V. Strojanov, | near |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | , Q. Shen, Vivian | |
| Tue, Mar 1st | | | |
| 9:00am | Tour of accelerator tunnels | Timur | LOB 4 |
| 11:00am | Meeting with users | Vivian | LOB 5 |
| 12:00pm | Lunch | Vivian | |
| 1:30pm | Departure | | |

Se tuvieron reuniones con

J. P. HILL, Director, National Synchrotron Light Source II
Q. Shen, Deputy Director For Science
Timur Shaftan, Deputy Accelerator Division Director
Ferdinand Willeke, Director of the Accelerator Division
Victor Smalyuk, Group Leader, Accelerator Physics y su grupo: G. Bassi, A. Blednykh, W. Guo B. Podobedov, S. Seletskiy, L. Yang, X. Yang, L. Yu
Vivian Stojanoff, Protein Crystallography
Y. Cai, IXS Lead Scientist
Yong Chu, NSLS-II HXN Beamline Group Leader, Photon Division

La fuente de luz original de Brookhaven (NSLS) - fue una de las instalaciones científicas más utilizados en el mundo. Cada año, 2.200 investigadores de 400 universidades, laboratorios gubernamentales y empresas utilizaron sus rayos X, luz ultravioleta y luz infrarroja para la investigación en muchos campos científicos. La productividad científica de la comunidad de usuarios NSLS era muy alto y tenía un impacto generalizado, con más de 900 publicaciones al año, muchos de ellos en revistas científicas de primer nivel. NSLS-II.

La nueva fuente de luz, NSLS-II, continuará con este impulso para lograr importantes avances en materia condensada y física de materiales, química y biología, que permitan entre otras cosas el desarrollo de nuevas tecnologías en energía, tales como las celdas de combustible basadas en nanocatalizadores; el uso de superconductores de alta temperatura en redes eléctricas; sistemas de almacenamiento eléctrico avanzadas para el transporte y el aprovechamiento de fuentes de energía renovables intermitentes; y el desarrollo de la próxima generación de sistemas de energía nuclear.

El anillo de almacenamiento de electrones de NSLS-II tiene una energía media de 3 GeV. Producirá rayos X más de 10.000 veces más brillante que el original NSLS. Se espera que

tenga un amplio impacto en una amplia gama de disciplinas científicas e iniciativas y la iniciativa federal de nanociencias.

### *Principales parámetros del anillo de almacenamiento NSLS-II*

| | |
|---|---|
| Ring energy (GeV) | 3 |
| Ring current (mA) | 500 |
| Ring circumference (m) | 792 |
| Number of DBA Cells | 30 |
| Number of 9.3 m straights | 15 |
| Number of 6.6 m straights | 15 |
| $\beta_h$ in 9.3 m straights (m) | 20.1 |
| $\beta_v$ in 9.3 m straights (m) | 3.4 |
| $\beta_h$ in 6.6 m straights (m) | 1.8 |
| $\beta_v$ in 6.6 m straights (m) | 1.1 |
| Vertical emittance (nm-rad) | 0.008 |
| Horizontal emittance (nm-rad) | 0.55 |
| RMS energy spread (%) | 0.1 |
| RMS pulse length (ps) | 15-30 |
| Time between bunches (ns) | 2 |
| Revolution period (us) | 2.64 |
| RF frequency (MHz) | 500 |
| Number of RF buckets | 1320 |
| Number of bunches | 1056 |
| Average bunch current (mA) | 0.47 |
| Average bunch charge (nC) | 1.25 |

La disposición para atender la delegación mexicana por parte del personal y directivos de NSLS-II ha sido sobresaliente. Se han establecido contactos que pueden ser de gran utilidad para el desarrollo de la futura fuente de luz mexicana, tanto en soporte para su construcción como en el establecimiento de fututas líneas experimentales. Existe una propuesta concreta por parte de NSLS-II en cuanto a acciones específicas de colaboración que a continuación se menciona

In a recent visit to our facility Professor Matias Moreno and Professor Armando Antillon presented the project and we had the opportunity to discuss several possibilities for collaboration and mutual cooperation. These can be summarized at different levels:
1- Accelerator physics: collaborative effort exchange in the design and construction of the accelerator and storage ring, e. g. the machine in itself;
2- Construction and development of specific experimental stations
3- Development of human resources

To pursue effectively the afore mentioned points it would be of interest to develop an exchange program whereby Mexican scientists and engineers would visit our facility for extended periods of time working in close relation with NSLSII scientific and engineering staff acquiring knowledge on the design and construction and working closely together developing commissioning and tests for the accelerator and storage ring. This close relation will allow not only to develop technological exchange between the two projects but also further develop human resources in Mexico to develop a program of the magnitude of a Synchrotron Radiation Facility.

Further development can be achieved through the construction and development of experimental stations at NSLSII while the Mexican Facility is under design and construction. NSLSII offers several opportunities, but most of all the realization of one single beam line or end station doesn't preclude that users from all communities can pursue their research interests at any of the NSLS II beam lines. The whole Mexican User Community will be able to pursue their research in spectroscopy, diffraction and imaging at any of the operating NSLS II beam lines. More specifically those members of the scientific community concentrating their studies on environmental issues will be able to profit from NSLS II beam lines dedicated to absorption spectroscopy methods developing their research at beam lines such as the sub-micron high resolution spectroscopy beam line (SRX) already in operation or the Tender X-ray Spectroscopy (TES) beam line which are

programed to come on line in a years time. The Macromolecular Crystallography community will be able to profit from the crystallography beam lines Frontier Microfocusing Macromolecular Crystallography (FMX), Highly Automated Macromolecular Crystallography (AMX) and Life-science X-ray Scattering (LiX) beam lines starting operation this summer. Several other opportunities are available from programs being developed at the Hard X-ray Nanoprobe (HXN) and Coherent Soft X-ray Scattering (CSX-1) and Electron Spectro-Microscopy (ESM). This later beam line optimized for spatially-resolved photoemission microscopy, μ-SARPES and XPEEM, will be available to researchers at the beginning of 2017.

To further develop human resources we propose to host a beam line or a partnership on a beam line that will provide Mexican scientists the opportunity to get hands on experience on the design, construction, commissioning and operation of a station of the complexity that will be required for the development of the Mexican Synchrotron. In specific two beam lines that would benefit from close collaboration between the two programs would be either XFM or QAS or both. For both beam lines the end-station is still an open slate. Close collaborations with specific project beam lines are also a possibility. Developments in experimental control, data reduction, automation would be mutually beneficial.

# *APS*

2 de marzo 2016

**Comitiva de México**

Matías Moreno (Instituto de Física, UNAM), Brenda Valderrama (Secretaria de Innovación Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos), Manuel Torres (Director del Instituto de Física, UNAM) y Armando Antillón (Instituto de Ciencias Físicas, UNAM-Morelos)

**Actividades**

La agenda propuesta fue la siguiente:

Argonne NATIONAL LABORATORY

**Visitors**

- Matías Moreno, Institute De Fisica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico
- Armando Antillon, Universidad Nacional Autonoma de Mexico
- Manuel Torres Labansat, Universidad Nacional Autonoma de Mexico
- Maria Brenda Valderrama, Government of Morelos

**Tuesday, March 1, 2016** - **Late Arrival to Argonne Guest House (approx. 9:00pm)**

**Wednesday, March 2, 2016**

| Time | Person/Event | Location |
|---|---|---|
| 9:30 am – 10:30 am | APS Overview - Stephen Streiffer, George Srajer & Denny Mills | Bldg. 401, A4000 |
| 10:30 am – 11:00 am | APS Upgrade Project - Stuart Henderson | Bldg. 401, A4000 |
| 11:00 am – 12:00 pm | APS Facility Walking Tour Jonathan Lang & Mark Beno | APS Tour |
| 12:00 pm – 1:30 pm | Lunch - Stephen Streiffer, George Srajer, Patricia Fernandez & Others | Guest House |
| 1:30 pm – 2:15 pm | Accelerator Systems & Operations - Michael Borland | Bldg. 401, A4000 |
| 2:15 pm – 3:00pm | Wrap-up - Stephen Streiffer and Denny Mills | Bldg. 401, A4000 |
| 3:00 pm | Adjourn | |

**Thursday, March 3, 2016**

| | |
|---|---|
| 2:30pm | United Limo transportation from ANL to O'Hare airport |

**ANL Staff Members meeting with the visitors**

Stephen Streiffer, Associate Laboratory Director for Photon Sciences (PSC) and APS Director
Denny Mills, Deputy Associate Laboratory Director for Photon Sciences (PSC)
Mark Beno, X-ray Science Division Interim Director
George Srajer, Deputy Associate Laboratory Director for Photon Sciences (PSC)
Stuart Henderson, APS Upgrade Project Director, Advisor to Lab on Accelerators
Jonathan Lang, X-ray Science Division Associate Director
Patricia Fernandez, X-ray Science Division Associate Director
Michael Borland, Accelerator Systems Division Deputy Director

De los cuatro laboratorios que se visitaron, APS fue el último con el que se pudo establecer el contacto para agendar la visita, lo cual se logró mediante el Prof. Paul Nealey, contacto de la Dra. Julia Tagüeña.

A pesar del corto tiempo en que se pudo arreglar la visita, las autoridades de APS estuvieron muy accesibles y receptivas con el proyecto en general de la fuente de luz mexicana y accedieron a otorgar un documento de apoyo a la viabilidad y pertinencia del proyecto, a la vez que se refrendó la disposición a otorgar soporte para desarrollo del proyecto y para la formación de recursos humanos especializados en física de aceleradores y en la parte experimental de las líneas.

Este laboratorio está contemplando una implementación de su anillo de acumulación en los próximos años. Desde la parte de física de aceleradores puede ser una oportunidad participar en la restructura. La situación es muy similar al ESRF en el que también está planeada una reestructura similar.

Las características generales están dadas por los parámetros siguientes:

**Parámetros del Anillo de Acumulación APS**

| | Notation | Model Value | |
|---|---|---|---|
| **General Parameters** | | | |
| Nominal energy | $E_0$ | 7.0 | GeV |
| Nominal circulating current, multibunch | $I_{nmb}$ | 100.0 | mA |
| Number of periods | $N_p$ | 40 | |
| **Transverse parameters** | | | |
| Transverse tune | $\nu_x,\ \nu_y$ | 36.20, 19.27 | |
| Natural chromaticity | $\xi_{x,n},\ \xi_{y,n}$ | −90.37, −43.28 | |
| Dispersion function | $\eta_x$,max, $\eta_y$,max | 0.22, 0.00 | m |
| Beta function | $\beta_{x,\min}, \beta_{y,\min}$ | 1.10, 2.87 | m |
| | $\beta_x$,ave, $\beta_y$,ave | 13.15, 16.07 | m |
| | $\beta_{x,\max}, \beta_{y,\max}$ | 29.21, 29.09 | m |
| **Longitudinal parameters** | | | |
| Circumference | $C$ | 1104.000 | m |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Revolution frequency | $f_0$ | 271.554 | kHz |
| Revolution time | $T_0$ | 3.682 | $\mu$ s |
| Harmonic number | $h_{\mathrm{rf}}$ | 1296 | |
| Typical RF voltage | $V_0$ | 9.5 | MV |
| Typical synchronous phase | $\phi_s$ | 2.54, 145.48 | Radian,Degree |
| Momentum compaction factor | $\alpha_c$ | $2.82 \times 10^{-4}$ | |
| Longitudinal tune (at 9.5MV) | $\nu_s$ | 0.008 | |
| **Radiation parameters** | | | |
| Radiation energy loss (dipole) | $U_{r,d}$ | 5.353 | MeV |
| Critical photon energy (dipole) | $E_c$ | 19.5 | keV |
| Partition number | $D$ | $-5.027 \times 10^{-4}$ | |
| Damping Time | $\tau_x$ | 9.626 | ms |
| | $\tau_y$ | 9.631 | ms |
| | $\tau_E$ | 4.817 | ms |
| Equilibrium momentum spread (zero current) | $\sigma_\delta$ | 0.096 | % |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Equilibrium bunch length (zero current) | $\sigma_t$ | 19.544 | ps |
| | $\sigma_z$ | 5.859 | mm |
| Natural emittance | $\epsilon_n$ | 2.514 | nm-rad |
| Effective emittance at ID location | $\epsilon_{eff}$ | 3.129 | nm-rad |
| | | | |

# *ALS/BERKELEY*

4 de marzo 2016

**Comitiva de México**

Matías Moreno (Instituto de Física, UNAM), Brenda Valderrama (Secretaria de Innovación Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos), Manuel Torres (Director del Instituto de Física, UNAM) y Armando Antillón (Instituto de Ciencias Físicas, UNAM-Morelos)

**Actividades**

La agenda propuesta fue la siguiente:

BERKELEY LAB

## VISIT AGENDA

## NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO (UNAM) DELEGATION

## FRIDAY, MARCH 4, 2016

| | |
|---|---|
| 12:50 – 1:00 pm | Yeen Mankin will meet group at Guest House lobby<br>*(Transfer to Roger's office)* |
| 1:00 – 1:30 pm | Meet with Roger Falcone, ALS Division Director<br>*(Building 80, Room 230)* |
| 1:30 – 3:00 pm | ALS Tour, hosted by Michael Banda, ALS Operations Deputy<br>• Elke Arenholz at 4.0.2<br>• David Shapiro at 7.0.1<br>• Eli Rotenberg at 7.0.2<br>• Jinghua Guo at 8.0.1<br>• David Kilcoyne at 5.3.2.2 |
| 3:15 – 5:00 pm | Meet with John Byrd, Program Head, Center for Beam Physics<br>*(meet at ALS Lobby, transfer to B71)* |
| 5:00 – 5:30 pm | Break<br>*(return to Guest House)* |
| 5:30 pm | Roger and John will pick group up in two cars to drive to dinner<br>*(Outside the Guest House Lobby)* |
| 5:45 pm | Dinner (reservation under Roger Falcone)<br>*Pathos Restaurant*<br>*2430 Shattuck Ave, Berkeley, CA*<br>*(510) 981-8339* |

UNAM Visitors:

1. Armando Antillón (Instituto de Ciencias Físicas-UNAM)
2. Matías Moreno (Instituto de Física-UNAM)
3. Manuel Torres (Instituto de Física at UNAM)
4. Brenda Valderrama, Secretary of Innovation, Science and Technology of Morelos State

ALS Point-of-Contact | Yeen Mankin | O (510) 486-7580 | C (510) 816-0020

La disponibilidad de tiempo del personal de ALS no estuvo en sincronía con nuestra visita, debido a que las fechas disponibles para nuestro viaje estaban condicionadas por los

demás laboratorios a ser visitados y el tiempo del personal de ALS estuvo sujeto a periodos de revisión de sus proyectos por parte del Departamento de Energía. Esto hizo que hubiera poca comunicación con el personal que está proponiendo el diseño de implementación de ALS y que se conoce como ALS-II. Este esquema es un buen candidato para la fuente de luz mexicana. A pesar de esto, el tiempo que el director de ALS dedicó a la comitiva fue excepcional y se hizo patente la posibilidad de apoyo de ALS al proyecto mexicano.

El ALS actual es un modesto sincrotrón en circunferencia, pero son notables los logros científicos que ha tenido. A pesar de que este sincrotrón fue concebido para ser efectivo a energías de fotones no muy altas, a diferencia del APS que lo fue a energías altas de fotones, ha logrado posicionarse en líneas específicas de rayos x, mediante el uso de imanes superconductores. Su localización geográfica en la cima de un cerro, no le permite tener un crecimiento apropiado y por ello las mejoras que se planean hacer están restringidas por la circunferencia del túnel actual. Su personal que propone las modificaciones de ALS-II ha hecho un excelente diseño mediante una celda 9BA que en sólo 200 m le permitirá tener una emitancia de 50 pm-rad.

**Parámetros Generales del ALS**

| Parameter | Value |
|---|---|
| Beam particle | electron |
| Beam energy | 1.9 GeV (1.0–1.9 GeV possible) |
| Injection energy | 1.9 GeV (1.0–1.9 GeV possible) |
| Beam current (all operation is in top-off with $\Delta I/I \leq 0.3\%$) | 500 mA in multibunch mode<br>2 x 17.5 mA in two-bunch mode |
| Filling pattern (multibunch mode) | 256–320 bunches; possibility of one or two 5- to 6-mA "camshaft" bunches in filling gaps |
| Bunch spacing: multibunch mode | 2 ns |
| Bunch spacing: two-bunch mode | 328 ns |
| Circumference | 196.8 m |
| Number of straight sections | 12 |
| Number of insertion devices | 12 |
| Radio frequency | 499.642 MHz (± 6 kHz) |
| Beam size in straight sections, rms | 251 µm x 8 µm (horizontal x vertical) |

(1.9 GeV multibunch mode)

| Parameter | Value at 1.9 GeV |
|---|---|
| Top-off injection rate: multibunch mode | 1–1.5 mA/shot every 25–50 seconds |
| Top-off injection rate: two-bunch mode* | 0.4–0.5 mA/shot every 25–30 seconds |
| Horizontal emittance | 2.0 nm-rad |
| Vertical emittance | 0.04 nm-rad |
| Energy spread (ΔE/E, rms) | $0.95 \times 10^{-3}$ |
| Pulse Length (FWHM) | 60 p‡ |

El Dr. John Bird, Program Head of Center for Beam Physics fue el encargado de ponernos al tanto de las implementaciones que se están llevando a cabo en el ALS y su disposición ha sido excelente así como su interés personal en colaborar con el diseño de la fuente de luz mexicana. También nos canalizó con Csaba Toth, Operations Coordinator del BELLA Center quien nos guió en una visita al Centro. Aquí se pretende mediante el surfeo en una onda de plasma, lograr energías de aceleración en electrones arriba de los GeVs en distancias de sólo centímetros, que representa gradientes de aceleración miles de veces más altos que los que se pueden lograr con métodos tradicionales.

Después de discutir el proyecto del Sincrotrón Mexicano, los directivos del ALS están dispuestos a emitir un documento de apoyo a la viabilidad y pertinencia del proyecto así como su disponibilidad para participar en su Comité Científico Internacional.

# *SSRL/SLAC*

7 de marzo 2016

**Comitiva de México**

Matías Moreno (Instituto de Física, UNAM), Armando Antillón (Instituto de Ciencias Físicas, UNAM-Morelos)

**Actividades**

La agenda propuesta fue la siguiente:

# *Mexican Synchrotron Light Source Project (MSLP) Meeting*

SSRL Building 137 – Conference Room 322

**Monday, 7 March, 2016**

| | | |
|---|---|---|
| 10:00 10:15 | Welcome | Kelly Gaffney, SSRL Director |
| 10:15 – 11:00 | Overview of MSLP | Matias Moreno Armando Antillón |
| 11:00 - 11:30 | Overview of SSRL Beam Line Programs | Piero Pianetta |
| 11:30 – 12:00 | Overview of SSRL Accelerator Programs | John Schmerge |
| 12:00 – 1:15 | Lunch and discussion of collaboration options | |
| 1:15 - 2:30 | SSRL Tour | |
| 2:30 – 3:30 | Discussion | |
| 3:30 | SLAC and LCLS tour | Jeff Corbett |

*Attendees:*

*MSLP: Prof. Matias Moreno, Prof. Armando Antillón*

*SSRL: Prof. Kelly Gaffney, Prof. Piero Pianetta, Prof. Britt Hedman, Prof. Ingolf Lindau, Prof. Herman Winick (tentative), Dr. Michael Toney, Dr. Aina Cohen, Dr. Michael Soltis, Dr. Donghui, Dr. Tom Rabedeau, Dr. John Schmerge, Dr. James Safranek, Dr. Jeff Corbett, Dr. James Sebek, Mr. Fernando Rafael*

## Parámetros de la Fuente de luz SPEAR3

| | |
|---|---|
| **Beam Energy** | 3 GeV |
| **Injection Energy** | 3 GeV |
| **Current** | 300-500 mA |
| **Fill Pattern** | 270 bunches distributed in six groups of 45 with 17 bunch gaps in between |
| **Circumferenc** | 234.137 |
| **Radio Frequency** | 476.315 MHz |
| **Bunch Spacing** | 2.1 n |
| **Horizontal Emittance** | 10 nm*rad |
| **Vertical Emittance** | 14 pm*rad |
| **Critical Energy** | 7.6 keV |
| **Energy Spread** | 0.097 |
| **Lifetime** | 12 hours @ 350 mA |
| **e- size (x,y)** | Dipole: 140, 14 µm rms<br>Standard ID: 310, 8 µm rms<br>Chicane ID: 300, 5 µm rms |
| **e- divergence (x,y)** | Dipole: 180, 2.9 µrad rms<br>Standard ID: 33, 1.7 µrad rms<br>Chicane ID: 34, 2.9 µrad rms |
| **Bunch Length** | 20 psec rms (6.0 mm rms) |
| **Straight sections for IDs (available ID length)** | 9 x 2.3 m<br>4 x 3.7 m<br>2 x 1.5 m (Chicane) |

En términos generales la visita a SSRL fue muy positiva por la receptividad del personal de SSRL y su administración. Las actividades de hecho empezaron el domingo 6 en la noche con una cena donde estuvieron presentes Piero Pianetta, Deputy Director for SSRL, Herman Winick, Professor Emeritus y Robet Hettel. Cabe mencionar que los dos últimos han sido de gran soporte para nuestro proyecto durante varios años.

El proyecto de la fuente de luz mexicana fue expuesto por los miembros de la comitiva y hubo una reacción positiva para ayudar al proyecto en lo necesario que incluye soporte en diseño de los sistemas aceleradores, formación de recursos humanos especializados tanto en la parte de física de aceleradores como en la parte de líneas experimentales. En corto se tuvieron discusiones con el personal de física de aceleradores como John Schmerge, James Safranek y Jeff Corbett durante los recorridos por los sistemas aceleradores. De particular interés resultó la visita a la sección experimental del SLAC Linac Coherent Light Source donde se pueden hacer experimentos con alta resolución temporal. El LCLS produce los pulsos de rayos-X más brillante del mundo. Al igual que una cámara de alta velocidad con un flash increíblemente brillante, toma instantáneas con rayos X de los átomos y moléculas, revelando procesos fundamentales en materiales, tecnología y seres vivos. Estas instantáneas pueden ser agrupadas en películas que muestran las reacciones químicas a medida que se van produciendo. Estos láseres de electrones libres están catalogados como fuentes de luz de cuarta generación y hay unos cuantos en el mundo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINCROTRÓN MÉXICO

# PLAN ESTRATÉGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SINCROTRÓN EN MORELOS.

## ANEXO:

## Uso Industrial de la Luz Sincrotrón

Mario A. Torres Oviedo

Juan Reyes Herrera

# USO INDUSTRIAL DE LA LUZ SINCROTRÓN

**Proyecto FOMIX CONACyT-Morelos**
Proyecto Sincrotrón México
Instituto de Física, UNAM

# ÍNDICE


INTRODUCCIÓN

ALCANCE GLOBAL

ESTADÍSTICAS DEL USO INDUSTRIAL DE SINCROTRONES.

COLABORACIÓN ENTRE INDUSTRIA Y SINCROTRÓN

PROPIEDAD INTELECTUAL

# INTRODUCCIÓN

Las propiedades excepcionales de la luz o radiación generada en un sincrotrón permiten analizar la materia a niveles sin precedente. Si bien en el ámbito de la ciencia el uso de esta tecnología es clave para la generación de conocimiento, en el sector industrial su uso permite el desarrollo de productos y mejora de procesos, un control de calidad más preciso y un eficaz apoyo en la solución de retos técnicos.

La información de alta precisión que se obtiene del sincrotrón, inalcanzable con otras técnicas y tecnologías convencionales, permite a los ingenieros y desarrolladores dar solución a desafíos técnicos presentes en los procesos de producción, siendo además una herramienta clave en la innovación y desarrollo de nuevos productos y procesos que dan una ventaja competitiva en la industria.

# VENTAJAS

### Alta intensidad
La brillantez de la luz es millones de veces mayor a cualquier otro tipo de rayo y permite la concentración de éste en áreas mínimas de la muestra por lo que la obtención de datos se realiza en fracciones del tiempo usual en laboratorios convencionales.

### Alta resolución temporal
La posibilidad de utilizar la luz en pulsos de décimas de nanosegundo permite un monitoreo en tiempo real de los procesos y reacciones.

### Condiciones operativas
Los análisis se pueden llevar a cabo en condiciones y atmósferas precisas que emulen aquellas a las que son sometidos durante los procesos de producción (temperaturas y presiones extremas, esfuerzos mecánicos, procesos químicos, etc.).

### No destructivos
El análisis es no destructivo y la preparación de las piezas o muestras es mínima, evitando la necesidad de maquinarlas, modificarlas, etc.

### Alta resolución espacial
Desde escalas milimétricas hasta escalas nanométricas e inclusive a nivel atómico.

ALCANCE

# GLOBAL

**Más de 2, 000 compañías en todo el mundo han hecho uso de la luz generada en los diferentes sincrotrones alrededor del globo, y el número aumenta cada año.**

USO INDUSTRIAL DE SINCROTONES

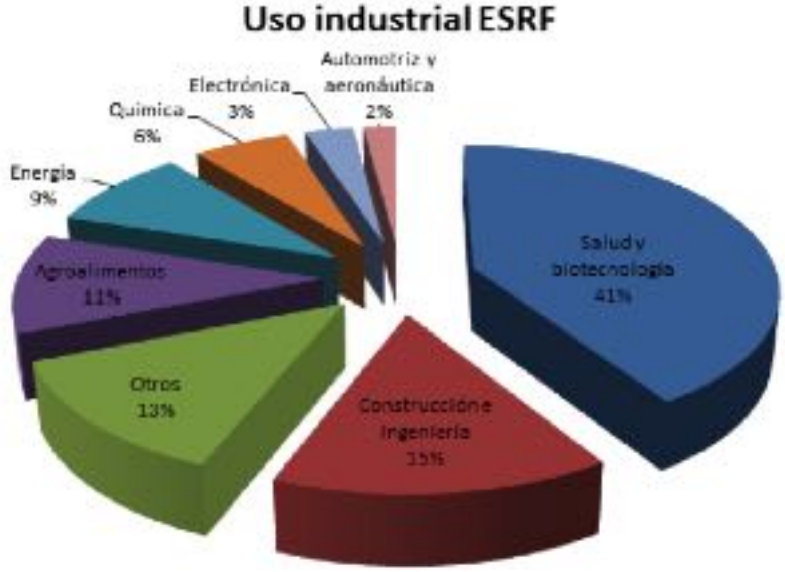
# ESTADÍSTICAS

La utilización de la luz de sincrotrón por parte del sector industrial ha ido en aumento en los últimos 20 años. La proporción de usuarios industriales directos es diferente en cada sincrotrón, ésta varía desde un 10% hasta un 20% del total de usuarios que realizan experimentos en este tipo de instalaciones.

Si bien esta proporción se refiere a usuarios que vienen directamente del sector privado, estadísticas indican que su uso industrial en realidad es mayor, ya que una cantidad considerable de los experimentos llevados a cabo por académicos son originalmente encargados por las empresas o financiados por éstas; se estima que entre un 40% y 60% del uso de sincrotrón tiene algún vínculo con la industria.

**En el caso del European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) ubicado en Grenoble, Francia; un estudio que encuestó a académicos que habían realizado investigaciones utilizando la luz de sincrotrón en esta instalación arrojó que los resultados obtenidos por el 39% de los científicos tienen aplicación para desarrollo industrial, 46% de las investigaciones en el esrf están hechos en colaboración con la industria o tienen cierta vinculación con ella, y finalmente, el 33% de los académicos encuestados aseveraron que recibían financiamiento por parte del sector privado.**

**Cada instalación de sincrotrón por lo general se inclina hacia ciertas técnicas de análisis en particular y ciertas áreas de estudio. Como un ejemplo, en el sincrotrón europeo esrf, la investigación dedicada a los diferentes rubros industriales se distribuyen de la siguiente manera:**



INDUSTRIA Y SINCROTRÓN

# COLABORACIÓN

La industria acude a los sincrotrones para la obtención de datos, desarrollar nuevas ideas, satisfacer necesidades de negocio manteniendo la competitividad y para el desarrollo e investigación de nuevos productos. Los experimentos y análisis realizados en sincrotrones se dividen de la manera más simplificada en experimentos de rutina (mediciones, control de calidad, etc.) y experimentos complejos (desarrollo de productos y mejora de procesos).

La relación entre la industria y las instalaciones de sincrotrón presenta diferentes niveles de colaboración dependiendo de las necesidades de cada compañía o laboratorio industrial y de las políticas propias de cada sincrotrón.

## SERVICIO

### Mediciones de rutina

En el caso de que el cliente industrial esté realizando mediciones de rutina, o mediciones que no se han realizado antes. O en el caso de que el industrial tenga muy poco personal o tiempo para asistir y llevar a cabo el experimento en el sincrotrón, se tiene el servicio de recolección de datos.

### Servicio completo

Esta modalidad incluye el diseño experimental, la recopilación de datos y el análisis de datos. En esencia, el cliente envía la o las muestras, y personal altamente calificado y con amplia experiencia obtiene los datos, realizan el análisis correspondiente (en discusión conjunta con el industrial) y genera un informe claro y accesible para explicar los resultados.

### Tiempo de haz

En esta modalidad únicamente se proporciona el tiempo de uso del haz de luz de sincrotrón en alguna o varias de las líneas de investigación en las instalaciones del sincrotrón. Esta modalidad puede elegirse en caso de que el cliente industrial cuente con alta experiencia y prefiera realizar los experimentos con su propio equipo de investigadores. El personal del sincrotrón estará disponible para el apoyo técnico durante el experimento hasta que éste concluya.

### Acceso remoto

Algunos sincrotrones como el europeo (ESRF) cuentan con este servicio en el que el cliente industrial envía las muestras al laboratorio de luz sincrotrón, para después realizar los experimentos y obtener los datos de forma remota.

# COLABORACIÓN

Para el desarrollo de productos y la mejora de procesos específicos se necesita una colaboración más cercana con el sincrotrón. En este tipo de desarrollos, donde se requiere de un proyecto de experimentación más complejo, las industrias colaboran directamente con los sincrotrones.

El nivel de colaboración puede llegar a ser tal en el que la empresa financia a personal propio que esté trabajando de base en un sincrotrón.

# LÍNEA PROPIA

Existen algunos sincrotrones en los que una compañía o consorcio industrial es propietario de una o varias líneas de experimentación. Ejemplos de ello son las líneas financiadas y construidas en el sincrotrón japonés Spring-8 por Toyota Central R&D Labs., Sony Corporation y FUJITSU Laboratories Ltd.; las líneas en el sincrotrón APS en Chicago pertenecientes a compañías farmacéuticas, y la línea perteneciente a la multinacional IBM en el sincrotrón ALS en Berkeley, California. Esta modalidad requiere una muy cercana colaboración entre la administración de la fuente de luz sincrotrón y las empresas involucradas.

# TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

Existe también el caso en el que la tecnología desarrollada por la misma instalación de sincrotrón para su propio funcionamiento puede ser transferida al sector privado. A partir de tecnologías desarrolladas por sincrotrones se han creado inclusive nuevas empresas de tecnología y consultoría.

Además de esta colaboración, la construcción de un sincrotrón como en el caso de México requerirá de la participación de la industria nacional tanto en la obra civil como en la parte tecnológica, las cuales comprenden el 75% del costo de construcción del sincrotrón.

# PROPIEDAD INTELECTUAL

Los servicios que proveen los sincrotrones a los usuarios académicos y privados son, en general, de dos tipos:

**Propuestas generales**

Estas propuestas deben ser aprobadas por un comité académico de acuerdo a su relevancia científica y los resultados deben ser publicados en revistas de circulación. Este tipo de propuestas son financiadas por el mismo sincrotrón.

**Propuestas de propietario**

En este tipo de propuesta, la aprobación de proyectos es más expedita y los resultados de la investigación son confidenciales. Este tipo de servicio es financiado por el usuario, donde se cobra el costo de operación proporcional del uso de la fuente de luz sincrotrón. Debido a las necesidades de la industria, en donde la eficiencia de tiempo y la protección de la información son de gran importancia, este tipo de propuestas tiene preferencia en el sector privado.

**Oficina de Vinculación Industrial**
Proyecto FOMIX CONACyT-Morelos
Proyecto Sincrotrón México
Instituto de Física, UNAM
www.fisica.unam.mx/sincrotron/industria
(en construcción)

Mario Agustín Torres Oviedo
mario.torres@correo.nucleares.unam.mx
555 622 4660 ext. 2282

Juan Reyes Herrera

La elaboración de este documento fue posible gracias al apoyo del proyecto Fomix CONACyT-Morelos 224392 "Plan estratégico para la construcción y operación de un sincrotrón en Morelos" y de la Universidad Nacional Autónoma de México, en particular del Instituto de Física. Agradecemos la colaboración del Dr. Fernando Matías Moreno Yntriago y el I.F. Rodolfo Ricardo Leo Méndez.

# APLICACIONES INDUSTRIALES

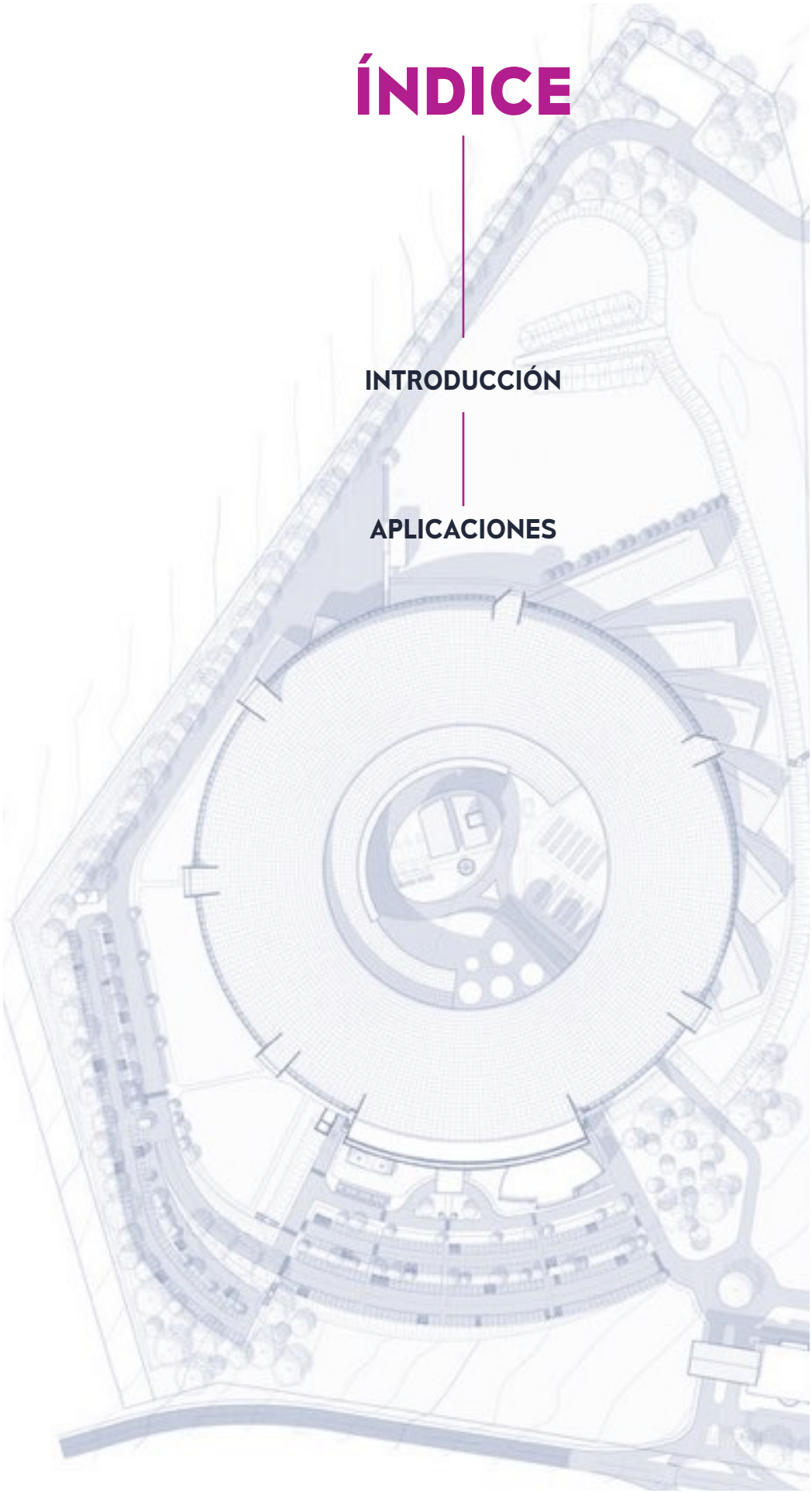
## INDUSTRIA QUÍMICA

**Proyecto FOMIX CONACyT-Morelos**
**Proyecto Sincrotrón México**
**Instituto de Física, UNAM**

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

APLICACIONES

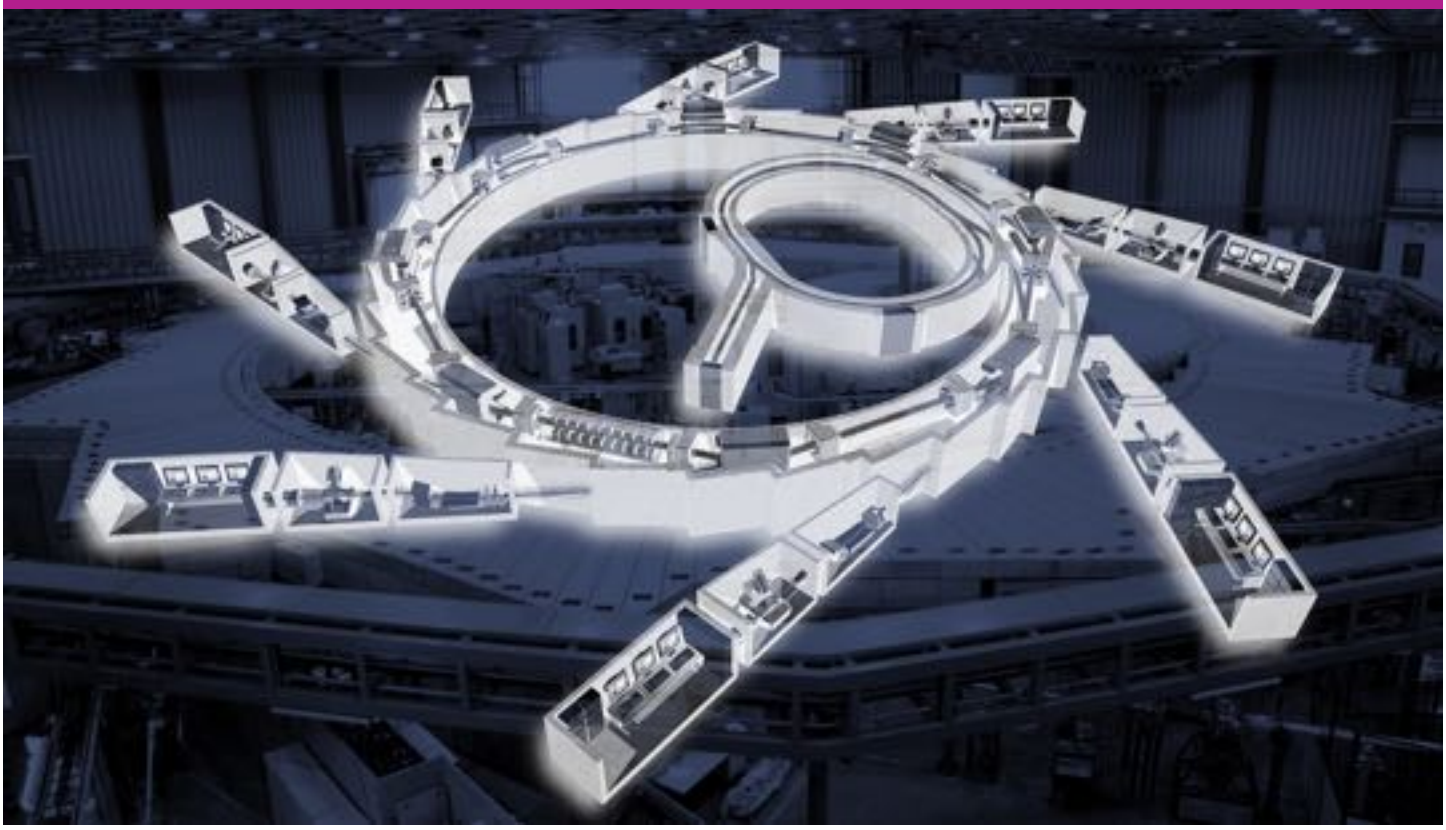


# INTRODUCCIÓN

Las propiedades excepcionales de la luz o radiación generada en un sincrotrón permiten analizar la materia a niveles sin precedente.

La utilización de la luz de sincrotrón en la industria responde a los retos y desafíos presentes en el ciclo de vida de los materiales: su desarrollo, manufactura, operación, desgaste, deterioro, evaluación, preservación, restauración y reciclaje entre otros.

En la industria química, el uso de la luz de sincrotrón permite realizar análisis a nivel molecular y atómico, además de posibilitar el monitoreo de reacciones químicas y mezclas en tiempo real. Esto convierte al sincrotrón en una herramienta excepcional tanto para el desarrollo de nuevos productos como para la mejora de procesos y el control de calidad. Un área en particular que hace especial uso de la luz de sincrotrón es el desarrollo de catalizadores.



APLICACIONES

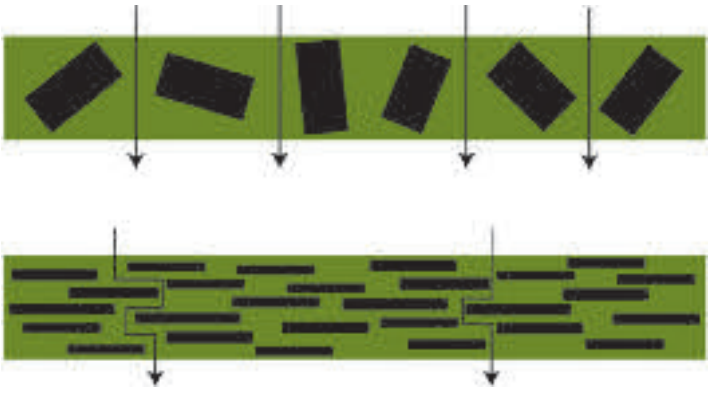
# ANÁLISIS DE LA MATRIZ POLIMÉRICA EN COMPUESTOS PARA MATERIAL DE EMPAQUE

La empresa multinacional TetraPak proveedora de soluciones de empaque y procesamiento de alimentos presente en todo el mundo, continuamente desarrolla nuevos materiales para sus productos de empaque.

Un ejemplo de ello es el desarrollo de un compuesto polimérico desarrollado para mejorar la impermeabilidad ante el flujo de gases comparado con las películas plásticas convencionales e incrementar así la vida de anaquel de los productos empacados.

**Un análisis realizado con luz sincrotrón utilizando la técnica SAXS, la cual es sensible a la distribución, orientación y agregación de partículas en un compuesto, ayudó a entender la distribución de las partículas en la matriz polimérica del material y cómo influenciaba dicha estructura al comportamiento del compuesto.**

## Sincrotrón: MAX II
## Línea: I911 - Small Angle X-ray Scattering
## Técnica: SAXS



Aumento de la tortuosidad en la trayectoria de las moléculas de gas.

APLICACIONES

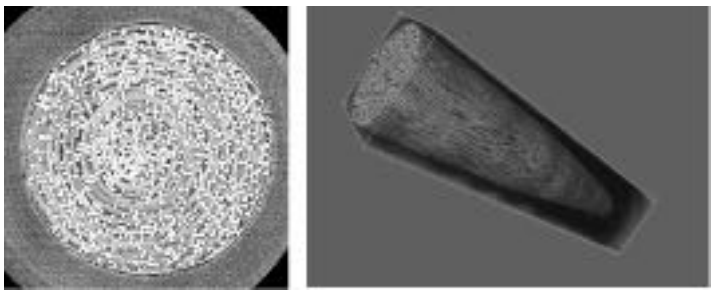
# ESTUDIO DE LA CALIDAD DE RESINAS POLIMÉRICA RECICLADAS

La empresa TE Connectivity es una multinacional dedicada a la manufactura de productos de conectividad para la industria automotriz, telecomunicaciones, aeroespacial, energética y de salud. TE Connectivity utiliza resinas poliméricas para el *housing* de sus conectores, actualmente está comprometida con utilizar resinas poliméricas recicladas con miras a cumplir sus objetivos de sustentabilidad aparte de reducir sus costos.

Uno de los retos de utilizar materiales reciclados es que su desempeño no es tan predecible: en las resinas poliméricas nuevas, las fibras de refuerzo están distribuidas en patrones predecibles, sin embargo en las resinas recicladas, el tamaño y la orientación de las fibras es aleatorio y puede impactar de manera significativa en el desempeño del material, ocasionando así que aparezcan más variables en el proceso de inyección y moldeo.

**La compañía ha acudido al sincrotrón ALS para desarrollar conectores más eficientes, especialmente en la línea 8.3.2, donde se obtuvieron tomografías 3D-CT de alta resolución, en las cuales puede visualizarse como están alineadas las fibras dentro del material, permitiendo determinar la cantidad de resina reciclada que puede ser incorporada a sus producto manteniendo los altos estándares de calidad de la compañía.**

Sincrotrón: ALS
Línea: 8.3.2 - Hard x-ray microtomography
Técnica: Tomografía



Tomografía de polímero reforzado con fibra de vidrio: corte seccional e imagen 3D.

APLICACIONES

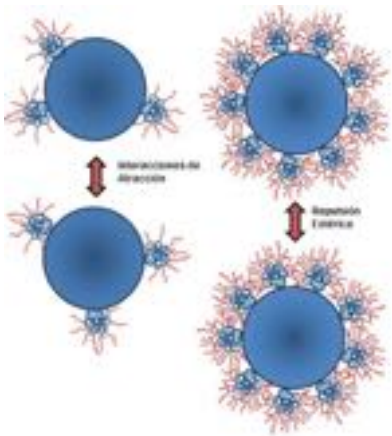
# LOS DISPERSANTES EN PINTURAS, PIGMENTOS Y COLORANTES

Los agentes dispersantes son cruciales para diversos campos de aplicación tal como en pinturas, plásticos, cosméticos y la construcción. En general, los agentes dispersantes mejorar la homogeneidad de un sistema de partículas por ser absorbidos a superficies de las partículas y ayudan en compatibilización del medio circundante y la mediación de las interacciones de partículas. Esto ayuda mejorar la fuerza del color y la estabilidad en las pinturas y cosméticos, el endurecimiento y la fuerza en la construcción así como las propiedades mecánicas en los plásticos.

La compañía Evonik Industries produce una gran variedad de sistemas que requieren el uso de dispersantes, pero hasta ahora el modo real de acción es muy poco conocida. Para ayudar a entender estos sistemas, se realizaron una serie de medidas mediante SAXS en el sincrotrón alemán PETRA III.

**Se encontró que en baja concentración, el dispersante cubre insuficientemente la superficie de las partículas dispersadas, por lo que no puede apantallar de una forma completa las interacciones entre las partículas. En el caso de alta concentración, es decir, cuando se cubre la superficie de las partículas, aparecen interacciones repulsivas entre las partículas dispersadas. Se espera que con la mejora en el entendimiento de la acción de las moléculas dispersantes lleve a una optimización de los productos de Evonik.**

## Sincrotrón: PETRA III (Alemania)
## Línea: P10 - Coherence Applications
## Técnica: SAXS



Representación de la estructura de las partículas y los dispersantes.

APLICACIONES

# ANÁLISIS DE CELULOSA COMO ESPESANTE EN PRODUCTOS DE LIMPIEZA

En los productos limpiadores, el componente que realiza la función limpiadora es el surfactante, la proporción necesaria para llevar a cabo esta función es muy pequeña, sin embargo, las cantidades presentes son mucho mayores debido a que se utiliza también como espesante.

En un intento de utilizar materiales más eco sustentables, se ha propuesto la utilización de celulosa como espesante, sin embargo no se conoce en realidad su comportamiento de gelación en diferentes condiciones ambientales, por lo que este proceso no puede ser controlado.

Utilizando luz sincrotrón, una colaboración de diferentes instituciones y empresas, incluyendo Unilever y Croda Specialty Chemicals, investigaron la microestructura de una forma de celulosa biodegradable y dispersiva. La celulosa en forma de gel fue analizada con diferentes formulaciones en variadas condiciones de salinidad, tipos de sales, tipos de surfactantes y niveles de pH.

Cambios en la estructura del gel fueron monitoreados en tiempo real en presencia de otros componentes como perfumes y otros alcoholes. Gracias a estas investigaciones, va a ser posible el desarrollo de productos de limpieza que utilicen menos componentes dañinos al ambiente y que reduzcan los costos de manufactura.

Sincrotrón: Diamond. (Reino Unido)
Línea: I22 Small Angle Scattering & Diffraction
Técnica: SAXS

APLICACIONES

# MICRO-DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LOS CONTENEDORES DE PLÁSTICO

Las propiedades físicas tales como la resistencia y la permeabilidad de gas de los envases de plástico hechos de PET (tereftalato de polietileno) dependen del grado de orientación y la cristalinidad del polímero, así como de su homogeneidad a lo largo de la botella. Una botella de PET mal hecha, llena de una bebida carbonatada, puede ser permeable a las moléculas de $CO_2$, con una pérdida desastrosa de las burbujas.

Las botellas de PET son hechas por una preforma amorfa mediante el soplado en un molde frío de moldeo por inyección. Durante este proceso, el polímero sufre una amplia gama de gradientes de temperaturas en diferentes direcciones, lo que resulta en una variación de la estructura local del polímero.

**Para mejorar el proceso de fabricación, un equipo liderado por científicos ICI (Imperial Chemical Industries) ha llevado a cabo una serie de estudios sobre la dependencia de la orientación del polímero y la cristalinidad de las condiciones de fabricación. La micro-difracción, con un barrido de haz 2 micras a través de la pared de 1 mm de espesor botella de plástico, reveló una marcada variación de la estructura del material en la mayor parte de la pared (casi amorfa) en comparación con las que se encuentran en las capas superficiales que son más cristalinas. Esto puede ser racionalizado en términos de los perfiles de temperatura establecidos durante la extrusión, que permite a los parámetros del proceso para ser optimizados.**

Sincrotrón: ESRF (Francia)
Línea: ID13 - Microfocus Beamline
Técnica: Micro XRD

APLICACIONES

# CONTROL DE CRISTALIZACIÓN EN COMBUSTIBLES Y BIOCOMBUSTIBLES

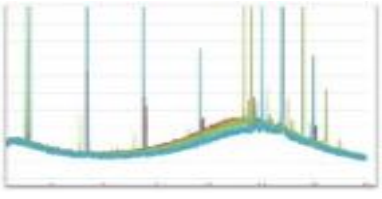
El uso de aditivos anticongelantes en combustibles diesel ha sido práctica común desde la aparición de estos combustibles. Sin embargo, en los últimos tiempos la demanda legislativa en ciertos países para utilizar biocombustibles en las mezclas diesel ha afectado la operabilidad de estas sustancias en bajas temperaturas.

La compañía Infineum, dedicada al desarrollo y manufactura de aditivos para combustibles, ha buscado constantemente la creación de aditivos que prevengan los procesos de nucleación y creación de cristales en combustibles convencionales y biocombustibles a bajas temperaturas, que son los que bloquean líneas y filtros en los sistemas automotrices.

Análisis llevados a cabo en las instalaciones del sincrotrón británico Diamond, utilizando la técnica de dispersión de rayos X en ángulo pequeño, ayudaron a entender el mecanismo de nucleación en combustibles.

El proceso de cristalización fue analizado en cambio utilizando la técnica de difracción de rayos X en polvo, y gracias a la resolución temporal del haz de luz sincrotrón utilizado, todo el proceso de formación de cristales en el combustible pudo ser monitoreado. La estructura final de los cristales pudo ser determinada subsecuentemente con diferentes técnicas de sincrotrón adicionales.

Sincrotrón: Diamond (Reino Unido)
Líneas: I11 High Resolution Powder Diffraction
I19 Small Molecule Single Crystal Diffraction
I22 Small Angle Scattering & Diffraction
Técnica: SAXS

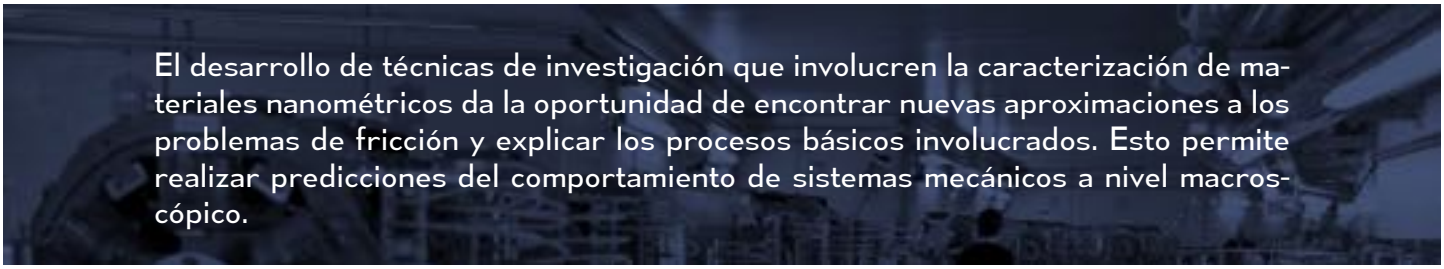


APLICACIONES

# NUEVOS LUBRICANTES MÁS RESISTENTES A LA FRICCIÓN

Los lubricantes son componentes fundamentales en los sistemas mecánicos debido a la reducción de la fricción entre partes móviles. Las reacciones químicas y físicas que ocurren tienen el potencial de cambiar la naturaleza tanto de los componentes mecánicos como la de los lubricantes. Por ejemplo, las presiones pueden alcanzar niveles extremadamente altos, posiblemente de varios GPa, el efecto de presiones de este nivel podrían producir campos eléctricos muy intensos capaces de general plasma a nivel local. La caracterización química a nivel microscópico, como lo es la espectroscopía microscópica de fotoemisión, puede ayudar para entender fenómenos de esta naturaleza.

En el sincrotrón italiano Elettra, los investigadores estudiaron una variedad de diferentes muestras de aceros sujetos a fuerzas mecánicas, bajo la presencia de varias fórmulas de lubricantes. El uso del microscopio de fotoemisión permitió la caracterización morfológica y química de las áreas de las muestras expuestas a la fricción. En el caso específico de lubricantes que contenían sulfuro, fue posible confirmar una descomposición de éstos, así como la existencia de residuos en lugares específicos de las muestras. Los investigadores también encontraron cambios químicos en el acero y una reorganización espacial de los elementos de la aleación y de fases cristalográficas.



El desarrollo de técnicas de investigación que involucren la caracterización de materiales nanométricos da la oportunidad de encontrar nuevas aproximaciones a los problemas de fricción y explicar los procesos básicos involucrados. Esto permite realizar predicciones del comportamiento de sistemas mecánicos a nivel macroscópico.

Sincrotrón: Elettra (Italia)
Línea: 2.2L - ESCA Microscopy
Técnica: N/A

APLICACIONES

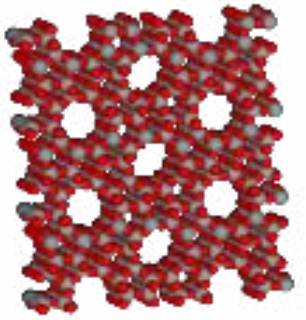
# EL PAPEL DEL PLATINO EN UN CATALIZADOR DEL TIPO PT-ZEOLITA

Aunque están presentes en casi todos los procesos de ingeniería química, generalmente los mecanismos de catálisis aún no se han analizado a una escala atómica. La demanda de catalizadores más eficientes y selectivos, impulsados por factores económicos y ambientales, es el origen de un esfuerzo de investigación en todo el mundo para racionalizar la síntesis de nuevos catalizadores. Las zeolitas son una clase extremadamente importante de catalizadores para muchos procesos industriales. En la industria del petróleo, al material se le incorporan átomos de metal, pero su eficiencia catalítica depende de donde se localizan. Estos son más activos en los poros de la matriz de soporte que en la superficie, pero hasta hace poco, era extremadamente difícil distinguir en que sitio se alojaban.

Un equipo franco-estadounidense logró hacer esta distinción en el sincrotrón europeo ESRF (Francia). Utilizaron un análisis de difracción anómala en una zeolita Pt / ZMS-5, usando una energía de haz cerca del borde de absorción de la subcapa L3 del platino. La muestra, preparada por MOBIL Technology Co., se redujo in situ en un horno montado en el difractrómetro bajo una atmósfera controlada de hidrógeno.

**Una comparación de los espectros de las formas iniciales y reducidas muestra que los clústeres metálicos en la forma reducida sólo podrían estar situados fuera de los poros. Este análisis también demuestra que la técnica es lo suficientemente sensible para analizar catalizadores industriales con una concentración muy baja de agente activo, menos de 1%. Gracias a este estudio será posible mejorar la eficiencia de este tipo de componentes.**

Sincrotrón: ESRF (Francia)
Línea: BM02 - Diffraction and Multi-wavelength Anomalous Dispersion
Técnica: XRD Anómala



Representación de la zeolita a nivel atómico

APLICACIONES

# INVESTIGACIÓN DE LA FORMACIÓN DE ÓXIDO DE HIERRO Y SUS ROLES EN EL MECANISMO DE CORROSIÓN

EnDURETM PF es un proceso de revestimiento de conversión sin fosfatos de metal industrial de los sistemas de tratamiento. Este proceso está diseñado para eliminar la suciedad, aceites y residuos de óxidos y convertir la superficie de varios de acero y base de aluminio metales vírgenes para su posterior sello y el procesamiento de la capa superior.

La etapa de pretratamiento contiene un polímero conductor intrínseca (ICP) dispersión. Debido al comportamiento redox de la ICP de la superficie de hierro se oxida y se forma una película delgada de óxidos de hierro.

**En el sincrotrón alemán PETRA III, Enthone GmbH realizó una investigación de las capas de óxido de hierro formados en las diferentes etapas del proceso y su papel en el mecanismo de corrosión.**

Sincrotrón: PETRA III (ALemania)
Línea: P08 - High Resolution Diffraction
Técnica: XRD

APLICACIONES

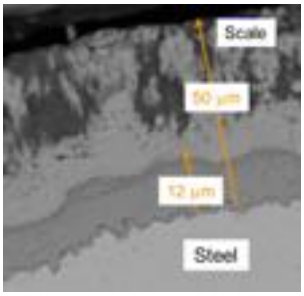
# ANÁLISIS DEL PROCESO DE ACUMULACIÓN DEL SULFURO DE HIERRO, AFECTANDO LA CORROSIÓN DEL ACERO

En las tuberías y equipos de las plantas generadoras de energía suelen acumularse capas de sulfuro de hierro, las cuales representan una capa protectora contra la corrosión del material, estas capas protectoras surgen de las reacciones químicas entre los diferentes fluidos de los procesos y el acero de las tuberías y equipos. Sin embargo no se conoce bien los procesos de creación y acumulación de estas capas, ya que varían inmensamente según la reacción en cuestión, las diferentes presiones, los grosores del material e incluso la forma de los equipos (por ejemplo se acumulan capas diferentes en codos de tubería, que en tramos rectos), aparte de la presencia de fases menores, capas de óxido o aleaciones de silicio.

La empresa Chevron Technology Company ha utilizado la línea 12.3.2 del ALS en California, para analizar estas capas protectoras de sulfuro de hierro. Utilizando técnicas de microdifracción de rayos X y gracias a la precisión y colimación del haz de luz sincrotrón, la resolución espacial de los análisis permitió determinar de manera exacta la localización de las diferentes fases y compuestos presentes en estas capas protectoras, pudiendo estudiar de manera precisa su comportamiento.

**Este estudio impactará en el manejo y gestión de las técnicas de producción para extender la vida útil de equipos mejorando así las condiciones de seguridad de trabajadores de las plantas, aparte de permitir una planeación más eficiente en el mantenimiento de las plantas.**

Sincrotrón: ALS (Estados Unidos)
Línea: 12.3.2 X-ray Microdiffraction
Técnica: Micro XRD



Corte seccional de tubería de acero. Escama de corrosión con multicapas con una capa interna de 12µm.

APLICACIONES

# OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE BIOCATÁLISIS PARA LA INDUSTRIA

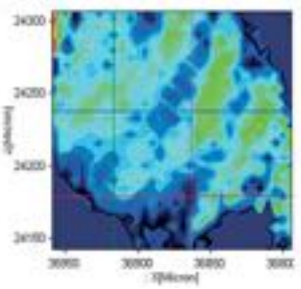
Para promover la explotación económica de biomasa y productos residuales de la agroindustria como, azucares, celulosa, almidón y aceites, se están haciendo estudios sobre nuevos procesos biocatalíticos que involucran catálisis mediante enzimas. Normalmente, estos procesos no compiten con los de química clásica debido a la baja eficiencia de los biocatalizadores.

Para el uso en la industria, es necesario incrementar la estabilidad enzimática, así como la opción de recuperación y reciclaje y así la catálisis sea productiva y mejoren los costos de enzima por kilogramo del producto final. Mediante la captura de las enzimas responsables de los procesos catalíticos dentro de estructuras de soporte sólidas e insolubles, es posible superar los problemas de producir biocatálsis estas propiedades.

Para estudiar estos procesos y su eficiencia se pude utilizar la luz sincrotrón y la técnica de FTIR. En el sincrotrón Elettra se llevó a cabo un estudio en un soporte de inmovilización (ácido 3-nitropropiónico), en el que se consiguió seguir visualmente la cinética de la difusión dentro de una matriz porosa.

Debido a la extrema sensibilidad de esta técnica y la alta intensidad de la luz sincrotrón, es posible obtener espectros de alta resolución con los que se provee información que de otra forma sería inaccesible; de esta manera se proporciona un nuevo, efectivo y rápido enfoque al estudio de los mecanismos de difusión de estos nuevos biocatalizadores.

Sincrotrón: Elettra (Italia)
Línea: 9.1 - SISSI Synchrotron Infrared Source for Spectroscopy and Imaging
Técnica: Espectrosopía FTRI



Distribución del ácido 3-nitropropriónico en una sección de la matriz de inmovilización a un tiempo de 10 minutos.

APLICACIONES

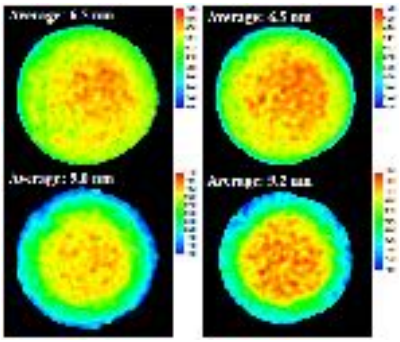
# – ANÁLISIS DE CATALIZADORES FISCHER-TROPSCH – EN TIEMPO REAL

La compañía British Petroleum en colaboración con el Catalyst Hub y el sincrotrón europeo ESRF por medio de una beca postdoctoral analizó el comportamiento de pellets de catalizador Fischer-Tropsch durante su proceso de reducción, con el fin de lograr pequeños incrementos en la eficiencia del proceso ya que esto propicia ahorro de energía, reducción de costos y crea una economía más "verde" para la compañía.

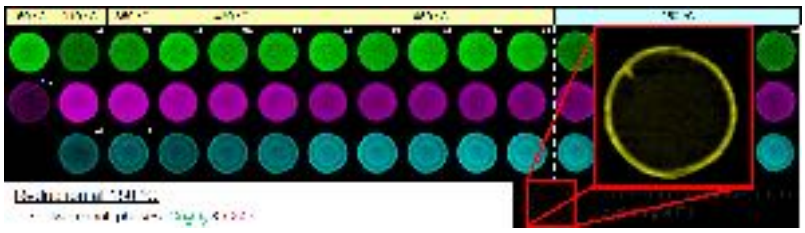
En la línea de alta energía ID15 del ESRF se utilizó la técnica de difracción de polvo para generar mapas de fase que dieran información en tiempo real durante el proceso de reducción del catalizador $Co/Al_2O_3$ FT al someterlo a ciclos de temperatura, donde se pudo observar el cambio en las fases de compuestos de cobalto; aparte se realizaron mapas de tamaño de partícula durante dicho proceso.

**Los resultados de estos estudios tienen un impacto inmediato en la capacidad catalítica del pellet de catalizador. Entendiendo todo esto, inclusive de un sistema ya bien conocido y estudiado como los catalizadores Fischer-Tropsch, le permiten a empresas como BP entender más acerca de sus procesos.**

Sincrotrón: ESRF (Francia)
Línea: ID15 - Materials Chemistry and Materials Engineering
Técnica: XRD en polvo



Tamaño de partícula de pellets de $Co/Al_2O_3$.



Proceso de cambio de fase en la reducción del $Co/Al_2O_3$ durante los ciclos de temperatura

APLICACIONES

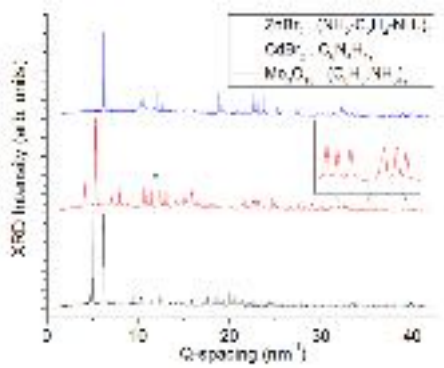
# NUEVOS MATERIALES MODERNOS DE CATÁLISIS LIMPIOS Y AMIGABLES CON EL MEDIO AMBIENTE

En el siglo XXI se han presentado importantes resto como el de la reducción de emisiones de $CO_2$. La compañía polaca FAMAR produce catalizadores para procesos industriales que limitan la emisión de gases dañinos y que al mismo tiempo son útiles para almacenar gases como el $CO_2$ y el $H_2$. Muchos de sus catalizadores consisten mezclas complejas de metales o cúmulos de metales cuya estructura es desconocida.

Para entender la estructura cristalina de estos materiales novedosos se realizaron estudios en el sincrotrón alemán DESY (PETRA III). Se utilizó la difracción de rayos X, debido a la alta intensidad del haz proveniente del sincrotrón fue posible medir patrones de difracción con una definición superior a los que se obtienen en los laboratorios convencionales.

**Algunas fase presentes en los materiales analizados fueron por fin develadas por los estudios en el sincrotrón, ya que en las fuentes comunes los picos de difracción se superponían (indicados con un asterisco en la figura) o simplemente eran indetectables. Estas mediciones le han permitido a FAMAR determinar las estructuras de nuevos catalizadores modernos, para tecnologías más limpias.**

Sincrotrón: PETRA III (Alemania)
Línea: P02 - Hard X-ray Driffraction
Técnica: XRD




Varios patrones de difracción para algunos compuestos producidos por FAMAR, medidos en DESY. El recuadro interno resalta la alta resolución que se puede obtener en una fuente de luz sincrotrón, la cual es imposible de obtener en laboratorios típicos.

APLICACIONES

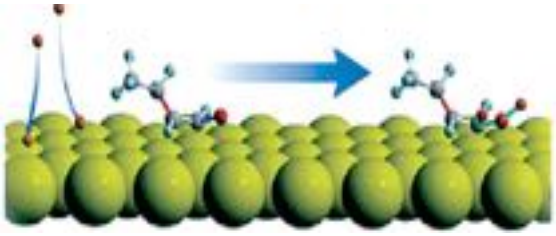
# ESTUDIO DE LA CATÁLISIS EN TIEMPO REAL

Los catalizadores son sustancias que provocan que las reacciones químicas se den fácilmente y rápidamente, sin que se consuman durante el proceso. La industria hace un uso amplio de catalizadores para producir productos para el consumidor, como fármacos, plásticos, combustibles y fertilizantes. Los catalizadores eficientes y efectivos contribuyen al ahorro de energía, procesos industriales más seguros y en reducir el impacto en el medio ambiente. Por lo tanto, los investigadores estudian la dinámica de las reacciones químicas involucradas en la catálisis para entender los procesos, optimizarlos y desarrollar catalizadores más eficientes. Sin embargo, a menudo este tipo de estudios genera información importante sólo cuando se realizan medidas cuantitativas en tiempo real.

En el sincrotrón italiano Elettra, en la línea de haz SuperESCA es posible realizar estudios en tiempo real de procesos que ocurren en el intervalo temporal de algunos segundos hasta 100 microsegundos- Es por lo tanto una herramienta ideal para analizar sistemas catalíticos. En un estudio hecho en SuperESCA, investigadores de la Universidad de Cambridge descubrieron que el cobre (el cual normalmente no tiene un efecto catalítico en la reacción química que convierte crotonaldehido en alcohol insaturado), se transforma en un catalizador 100% efectivo cuando tiene sulfuro en la superficie. Esa reacción química es particularmente interesante, y de considerable importancia, para muchas áreas de la industria química.

Con la demanda emergente en años recientes de nuevos tipos de catalizadores basados en nanotecnología, la herramienta analítica SuperESCA ha sido capaz de ayudar al esfuerzo en la caracterización completa de los procesos catalíticos, un requerimiento esencial para el diseño de catalizadores innovadores

Sincrotrón: Elettra (Italia)
Línea: 2.2R Super ESCA
Técnica: Fotoemisión de alta resolución



Esquema del proceso de hidrogenización del crotonaldehido en la superficie de un cristal de cobre.

APLICACIONES

# ANÁLISIS DE MAGNETITA ESTABILIZADA CON CROMO Y COBRE COMO CATALIZADOR PARA SU MEJORAMIENTO

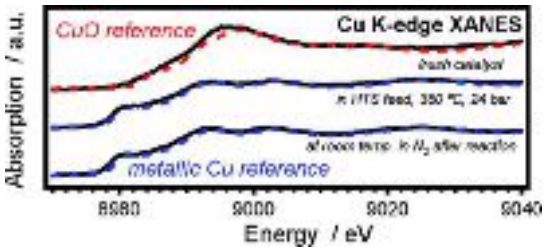
Los catalizadores son substancias que estimulan las reacciones químicas sin ser consumidos y por lo tanto de gran importancia para diferentes sectores industriales.

La multinacional danesa Haldor Topsøe, especializada en la producción y desarrollo de catalizadores para la industria petrolera y de fertilizantes, utiliza la luz de sincrotrón para realizar análisis de la estructura y propiedades de dichos compuestos.

Un ejemplo de ello es la magnetita estabilizada con cromo y cobre, esta sustancia es utilizada como catalizador para la reacción de agua con monóxido de carbono utilizada en la industria química para producir hidrógeno, el cual es luego utilizado en la producción de metanol y amoníaco.

La técnica XAFS utilizada con luz del sincrotrón sueco MAX II reveló información importante del comportamiento de este catalizador, por ejemplo, el cambio en la estructura del cobre en diferentes condiciones presentes en los procesos industriales.

Sincrotrón: MAX II (Suecia)
Línea: I811 – Materials Science
Técnica: XAFS




Resultados XAFS de las mediciones de $Fe_3O_4$ estabilizada con cromo desde el cobre bajo diferentes condiciones industriales.

APLICACIONES

# ANÁLISIS A NIVEL MOLECULAR DEL COMPORTAMIENTO DEL ADITIVO ZDDP PARA MOTORES AUTOMOTRICES

El aditivo lubricante ditiofosfato dialquil de zinc (ZDDP) ha sido utilizado por más de un siglo en la lubricación y prevención de desgaste de motores automotrices. Sin embargo, se ha observado que residuos de este compuesto llegan al sistema de escape del motor, afectando la eficiencia de limpieza de los convertidores catalíticos de los automóviles y por tanto impactando en el efecto de las emisiones en el medio ambiente.

Con el fin de crear compuestos alternativos al ZDDP, la compañía Chevron en colaboración con el sincrotrón canadiense CLS está llevando a cabo una investigación para conocer a detalle el mecanismo de lubricación que el ZDDP posee.

Utilizando la técnica de Espectrocopía de Absorción de Rayos X de Estructura de Borde Cercano, los investigadores han podido identificar de manera precisa los diferentes compuestos y metales que se encuentran en la estructura de las delgadas capas de aditivo.

Se espera que el conocimiento adquirido de la estructura química y mecanismo de lubricación del ZDDP se pueda usar como base para el diseño de aditivos que no afecten el proceso de reducción de emisiones al medio ambiente.

Sincrotrón: CLS (Canadá)
Línea: 07B2-1 - Very sensitive Elemental and Structural Probe Employing Radiation from a Synchrotron (VESPERS)
Técnica: XANES

APLICACIONES

# DESARROLLO DE NUEVOS CATALIZADORES QUE INCREMENTEN PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA Y AUTOMOTRIZ

El uso de la radiación de sincrotrón es crucial para el estudio de catalizadores utilizados por la industria química, automotriz y petroquímica. La compañía brasileña Oxiteno acudió al sincrotrón LNLS para el desarrollo de un nuevo catalizador que incrementara la productividad de manera significativa.

La radiación de sincrotrón contribuye también a entender los procesos de catálisis heterogénea utilizados en la conversión "verde" de biomasa a energía, combustibles y químicos. En los experimentos llevados a cabo en el LNLS es posible observar estos procesos microscópicos en tiempo real y en condiciones reales.

Sincrotrón: LNLS. (Brasil)

**Oficina de Vinculación Industrial**
Proyecto FOMIX CONACyT-Morelos
Proyecto Sincrotrón México
Instituto de Física, UNAM
www.fisica.unam.mx/sincrotron/industria
(en construcción)

Mario Agustín Torres Oviedo
mario.torres@correo.nucleares.unam.mx
555 622 4660 ext. 2282

Juan Reyes Herrera

La elaboración de este documento fue posible gracias al apoyo del proyecto Fomix CONACyT-Morelos 224392 "Plan estratégico para la construcción y operación de un sincrotrón en Morelos" y de la Universidad Nacional Autónoma de México, en particular del Instituto de Física. Agradecemos la colaboración del Dr. Fernando Matías Moreno Yntriago y el I.F. Rodolfo Ricardo Leo Méndez.

# MULTIMEDIA

---

Los videos y/o audios y fotografías de los eventos pueden ser descargados en la siguiente dirección:

www.fisica.unam.mx/sincrotron/multimedia

Los eventos actualmente disponibles son los siguientes:

**Video**

**Grandes Proyectos Científicos Mexicanos: Sincrotrón** - El Colegio Nacional.

**Mexico Hacia el Salto Tecnológico y Científico** - El Senado de la República.

**Diseño y Construcción de las Infraestructuras del Sincrotrón Español ALBA** - Seminario IFUNAM.

**El Sincrotrón Mexicano** - Video Informativo.

**Entrevistas**

**Audio**

**Proyecto Sincrotrón** - Perfiles, Radio UNAM.

**Fotografías de los Eventos**

**El Sincrotrón en los Medios**