José Luis Martínez Peña

Director Adjunto y Jefe de la División de Proyectos y Técnicas del Laboratorio Laue-Langevin

Copyright: ILL/Artechnique

*El Instituto Laue-Langevin (**ILL**) es un Centro Internacional de Investigación ubicado en Grenoble (Francia) y orientado a la investigación básica y al desarrollo de técnicas y aplicaciones con neutrones. Su fuente de neutrones, basada en un reactor de fisión de muy alto flujo "High Flux Reactor" (HFR) de 58,3 MW proporciona el flujo de neutrones más intenso del mundo ($1{,}5 \cdot 10^{15}$ neutrones por cm^2 por segundo), dirigido a unos 40 instrumentos científicos. 490 personas desarrollan de forma permanente su trabajo en el Instituto y reciben anualmente a más de otros 1.500 científicos de diferentes países para efectuar sus investigaciones en campos como la física nuclear, biología, química, materiales y en general técnicas de análisis no destructivos.*

*El **ILL** está financiado y gestionado por Francia, Alemania y el Reino Unido, colaborando además otros 10 países europeos, entre ellos España y la India. Se fundó en 1967, comenzando la marcha del reactor en 1971. El envejecimiento del reactor se evita renovando periódicamente sus estructuras, desde las más simples a las más importantes; en particular la "cuba" del reactor se cambió en 1992-1994 y se ha obtenido la superación reciente del más riguroso "stress test" exigido tras el accidente de Fukushima. La operación del reactor se basa en ciclos de 50 días que corresponden al "quemado" de un único elemento combustible que dura ese período e interrumpiéndose para renovar la carga del reactor y operaciones de revisión. Un año típico implica un funcionamiento de 4 ciclos, es decir 200 días al año. Ello supone también el funcionamiento de nuestro parque de 40 instrumentos durante 200 días al año en base a 24 h/día y 7días a la semana.*

VISTA GENERAL DEL ILL. Copyright: ILL/Artechnique

***DYNA** Ingeniería e Industria* pretende acercar a los ingenieros industriales las técnicas más actuales en el mundo científico y en este caso en el campo de las partículas subatómicas. En pasados números de la revista se han venido exponiendo diferentes textos sobre las partículas subatómicas y elementales, los aceleradores en general y descripciones de Centros dedicados a esa tecnología, como el sincrotrón ALBA sito en Cataluña o el *Large Hadron Collider* (LHC) localizado en Ginebra.

En esta entrevista ponemos el foco en algo más práctico: los medios más potentes para la observación y detección. Todos los ingenieros conocemos los microscopios electrónicos, que supusieron un avance considerable sobre los microscopios ópticos tan habituales en los análisis y mediciones estructurales. Hoy día los microscopios electrónicos son habituales en nuestros Centros de Investigación y acudimos

** Max von Laue, físico alemán (1879 – 1960), premio Nobel de Física 1914 por sus trabajos sobre la cristalografía por rayos X.*

*** Paul Langevin, físico francés (1872 – 1946), especializado en los campos de la ionización de los gases, magnetismo, ultrasonidos, etc.*

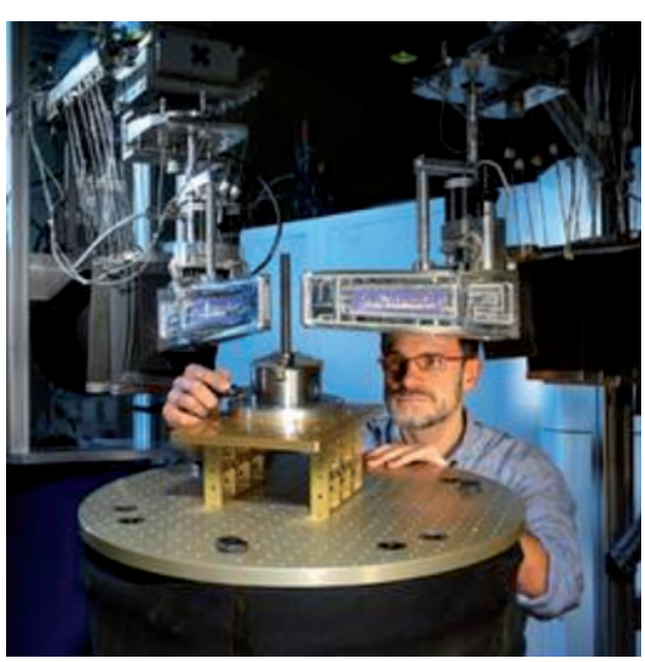
a ellos con asiduidad. Pero hay aún un paso más y este es el tema que deseamos exponer a través de la entrevista con **José Luis Martínez Peña** que ofrecemos a continuación.

DYNA. *Dadas las características y lectores de DYNA, trataremos en lo posible de considerar con preferencia el punto de vista de la ingeniería y la industria y, en concreto, de la que en general se practica en España. Con ese punto de partida, sería tan amable de indicarnos: ¿Cómo y por qué inició Ud. su actividad en el ILL? ¿Se debió a su formación académica y/o a la experiencia en Centros similares?*

José Luis Martínez Peña (JLMP). En mi caso particular, estudié Ciencias Físicas en la *UAM* (Madrid). Posteriormente inicié mi carrera de investigación con la realización de mi Tesis Doctoral entre la *Univ. Politécnica de Nagoya* (Japón), durante casi 2 años, y posteriormente en la UAM. Tras la tesis (1984) realicé una estancia de 18 meses en el *Laboratorio Nacional de Brookhaven* (NY-EE.UU.) donde comencé a trabajar en técnicas de neutrones. A mi retorno de EE.UU. obtuve una plaza de Profesor Titular en la UAM, pero en 1987 me incorpore al *Institut Max von Laue et Paul Langevin* (ILL) como científico responsable de uno de los 40 instrumentos disponibles en este centro. La razón de optar a un trabajo en el ILL fue debido a mis inicios en esta técnica en EE.UU. y a que el ILL era ya entonces, y lo continua siendo hoy en día, el centro de investigación líder mundial en técnicas de neutrones. Posteriormente en 1992 retorne a España, pero esta vez a una plaza en el *Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid* (CSIC). Desde el año 2000 soy Profesor de Investigación del CSIC, actualmente en "Servicios Especiales". Posteriormente en el año 2003 trabaje durante 4 años como Subdirector General de Proyectos de Investigación en el *Ministerio de Ciencia e Investigación*. Finalmente en 2007 fui elegido como director adjunto del ILL en representación de Francia, para un mandato de 5 años hasta finales de 2012. Creo que las razones de haberme ofrecido este puesto están claramente ligadas a mi experiencia científica en técnicas de neutrones, a los buenos resultados obtenidos en términos de publicaciones científicas y citaciones, así como a mi dedicación a la gestión de la investigación.

D. *¿Cuales son los tipos de ensayos más habituales que la industria puede llevar a cabo con la ayuda de los neutrones? ¿Qué se determina, hasta qué límites y cuáles son las ventajas sobre otros medios de determinación como el microscopio electrónico o los rayos X de sincrotrón?*

JLMP. La industria puede acceder al ILL mediante dos vías, pero en general la industria suele demandar "soluciones inmediatas a sus problemas" y no tiempos de medias en instrumentos. La primera es la más habitual y corresponde a colaboraciones directas entre una empresa y un grupo de investigación de una Universidad (20% de nuestro tiempo total). Normalmente esta empresa firma un contrato de colaboración con la Universidad y finalmente son los investigadores de esa universidad los que solicitan tiempo de medida en el ILL. También estos investigadores son los que realizan los experimentos en el ILL y finalmente dan sus informes a las empresas o publican los resultados. La segunda vía es mucho más minoritaria (<1%) y la industria compra tiempo de medida en algunos de nuestros instrumentos. Los precios varían entre 12.000 y 25.000 € día (24 horas y dependiendo del instrumento), incluyendo soporte técnico del ILL para realizar las medidas. Posteriormente estos datos son "privados", solo pertenecen a la empresa y su análisis puede ser realizado por los departamentos de I+D de las empresas o en colaboración con los científicos del ILL, sobre la base de la confidencialidad. A esta segunda vía acceden grandes empresas tipo EADS, EDF, Rolls-Royce, Procter & Gamble o tipo SANOFI, ASTRA/SENECA. Respecto al tipo de ensayos, de forma general la industria química o farmacéutica realiza determinación de estructuras cristalográficas de sistemas con potenciales aplicaciones (catalizadores, proteínas, surfactantes, liberadores de fármacos…). La industria mecánica realiza sobre todo ensayos de tipo no destructivos para determinación de tensiones residuales o propiedades mecánicas en el volumen de los materiales (profundidad de varios cm), así como técnicas de neutrografia (equivalente a radiografías) que permiten ver el comportamiento en funcionamiento del interior de sistemas completos, como por ejemplo un motor de combustión y ver in-situ la dinámica del fluido de refrigeración o de lubricación en pistones y válvulas.
En general las diversas técnicas como son ópticas, electrónicas o de rayos X son complementarias con los



Colocando una muestra para la detección de tensiones residuales. Copyright: ILL/Artechnique

neutrones. El valor añadido que ofrecen los neutrones es:

- Debido a su carga neutra puede penetrar en el volumen (varios cm) y ver interfases enterradas entre materiales con propiedades diferentes, p.ej. diferentes tipos de aceros en tuberías de circuitos de refrigeración de centrales eléctricas. En general los rayos X, la luz o los microscopios electrónicos son más sensibles a las capas superficiales. La falta de carga también favorece poder hacer ensayos no destructivos y en muestras reales, p.ej. ruedas de tren reales que han sufrido fractura por fatiga.
- A causa del tipo de interacción del neutrón con la materia, las técnicas de neutrones son muy sensibles a átomos ligeros (H, Li, C...), más que los Rayos X que al interaccionar con los electrones favorecen los átomos pesados (con más electrones). En este sentido, para moléculas terapéuticas que su acción se basa en interacciones a través de puentes de hidrogeno o en aleaciones ligeras para aeronáutica (Al-Li), la sonda de neutrones es excelente y a veces puede dar información invisible por otras técnicas.

D. *Con la excelente información contenida en su sitio web (www.ill.eu) vemos que la fuente de los neutrones en el ILL es un reactor de fisión, y que está situado en un entorno que pudiéramos considerar urbano. ¿No han tenido o tienen problemas de contestación por ello? ¿Disponen de mediciones adecuadas en las zonas circundantes?*

JLMP. Efectivamente el ILL opera un reactor de muy baja potencia (58 MW), aunque sea de muy alto flujo de neutrones. Por referencia, una central nuclear estándar para producir electricidad puede tener una potencia instalada de entre 500 a 1000 MW por reactor. El diseño de nuestro reactor es excepcional y modular. Prácticamente todas las piezas se pueden intercambiar como un mecano (incluso la cuba del reactor que se cambio en 1992-94). Evidentemente tenemos un proceso de mantenimiento preventivo y las piezas son cambiadas según un programa definido y controlado por la *Autoridad de Seguridad Nuclear* en Francia (ASN). Además nuestro referencial de seguridad se basa en tres barreras de seguridad independientes y consecutivas. Debido a los tres factores mencionados anteriormente, el denominado perímetro de seguridad para que no haya viviendas es de solo 500 m. Por tanto, aunque la ciudad haya crecido, no se autorizan construcciones de viviendas dentro de ese perímetro. Por otro lado, pequeños reactores de investigación los hay en varias ciudades, como **Paris-Saclay**, **Viena**, **Boston** (MIT)… En general debido a nuestro carácter de investigación básica, volcados al progreso del conocimiento con una gran afluencia de investigadores de todos los países a **Grenoble** (más de 1.500 por año), hace que nuestra instalación este muy bien integrada en Grenoble, e incluso contribuyamos enormemente a que Grenoble en el área de investigación sea tan conocida a nivel mundial como **Boston, San Francisco o Paris.** Finalmente, por supuesto, tenemos un sistema de vigilancia y control medioambiental, que incluye control del aire, agua y productos vegetales y animales en un amplio entorno de nuestro centro, con puntos de control o recogida de muestras hasta distancias de 20 km. En el caso de aire y agua son sistemas de análisis y control automatizados con lecturas continuas las 24 horas.

D. *¿Cuál es el combustible empleado en el RHF? ¿Se hacen estudios o aprovechamientos nucleares con este reactor, aparte de utilizarlo como fuente de neutrones?*

JLMP. Como he explicado anteriormente el diseño de nuestra fuente de neutrones es muy sofisticado y tenemos un solo elemento combustible en el centro del reactor. Este elemento combustible se fabrica con varios kilos de uranio fisible (^{235}U) altamente enriquecido (hasta el 95%). Una vez usado el elemento combustible se envía a ser reprocesado en el centro de AREVA en **La Hague** (norte de Francia). Debido a que nuestra misión es ofrecer haces de neutrones para experimentación científica, no se aprovecha la energía disipada del reactor (58 MW) para producir electricidad, al contrario somos consumidores netos de electricidad (nuestra factura eléctrica es del orden de 1 M€/año). Muy recientemente hemos comenzado un nuevo programa de trabajo para utilizar nuestro reactor como fuente para generar radioisótopos con aplicaciones medicas, sea de diagnostico o tratamiento, lo llamamos neutrones para la salud. Consiste en introducir ciertos materiales Neutrones para la Salud cerca del centro del núcleo del reactor, que tras la captura de varios neutrones transmuta a isótopos con aplicaciones médicas. Por ejemplo hemos comenzado a producir isótopos muy específicos del tipo ^{188}W o ^{177}Lu que necesitan muy alto flujo de neutrones, por la doble captura de 2 neutrones casi simultáneamente, lo cual es muy dependiente de tener un muy alto flujo de neutrones. Posteriormente, en colaboración con una empresa de **Munich**, estos radioisótopos son transformados en radio-fármacos y distribuidos a hospitales.

D. *¿Se realizan actividades investigadoras desde España en el ILL enfocadas al área industrial? ¿Podría exponernos muy brevemente alguna de ellas?*

JLMP. Por la vía directa de compra de tiempo de haz de neutrones, no hemos tenido aún ninguna industria española entre nuestros usuarios. Por la vía de colaboración con Universidades me consta que hay algunas colaboraciones de la industria eléctrica y universidades politécnicas, que han generados experimentos. En concreto, estudios de tensiones residuales en los tubos de circuitos de refrigeración de centrales. Estos tubos de refrigeración están compuestos de dos tipos de acero inoxidable (perlítico y austenítico) que en ciertas zonas (curvas) y debido a la agresividad (altas temperaturas y presiones) del circuito primario se generan tensiones residuales que producen fisuras en este material. Los estudios de neutrones realizados sobre piezas reales de circuitos intentaban optimizar procesos de alivio de tensiones

que pudieran alargar la vida media de uso y/o predecir las rupturas para optimizar el mantenimiento preventivo.

D. *El nuevo Centro ESS-Scandinavia, descrito hace tiempo en DYNA, ha optado por un medio, espalación, para la generación de los neutrones distinto del ILL. ¿Podría hacernos un breve comparativo elemental de las ventajas e inconvenientes de cada uno?*

JLMP. Hay una segunda alternativa a un reactor de fisión para producir neutrones que es el método de *espalación*. En este caso los neutrones son producidos en "pulsos", no de forma continua. Esto implica que el número de neutrones en el pico del pulso suele ser más alto que los producidos en un reactor, pero en general el número de neutrones integrados en el tiempo (total) suele ser menor (como mucho igual) que los producidos en un reactor equivalente. Si uno puede construir un instrumento que utilice esta forma pulsada del haz, será muy competitivo respecto a un instrumento de reactor. Por el contrario si nuestro interés es el número total de neutrones de forma integrada (continua) y no el valor de pico, entonces es mejor una fuente tipo reactor.
Como la fuente de espalación funciona a pulsos, su potencia térmica total es menor (5 MW), para un equivalente en reactor de 50MW. Sin embargo el consumo de electricidad es mucho más elevado, al menos con un factor de 2 a 3 veces. Los procesos de obtener licencia de funcionamiento y de control medioambiental son más fáciles de obtener para una fuente de espalación que para un reactor.
Por otro lado los residuos generados en una fuente de espalación, el blanco de un metal pesado (p.ej. W, ^{238}U, Hg) fuertemente irradiado son menores y más fáciles de manejar que los residuos de un reactor.

D. *También en Bilbao está desarrollándose un Centro que tras la instalación de un acelerador de protones a 50 MeV, anuncia una futura obtención de neutrones por interacción con berilio metálico. ¿Serán ambas instalaciones utilizables para investigaciones de nuestra industria como las mencionadas en su Centro?*

JLMP. Efectivamente el nuevo centro en construcción en Bilbao va a proveer un haz de protones que mediante un blanco de berilio producirá pulsos de neutrones con una intensidad de pico muy competitiva. A partir de estos pulsos de neutrones y tras un proceso de moderación se enviarán sobre los diferentes instrumentos. No estoy muy al corriente de las últimas novedades de este proyecto, pero creo que en un futuro muy cercano van a iniciar un proceso de consulta con la comunidad científica y empresarial española para determinar cuáles serian los instrumentos más adaptados a las necesidad de los grupos españoles. En este sentido creo que sería muy importante que la industria española comience a evaluar y expresar sus prioridades antes de que se cierre el diseño de los futuros instrumentos.

D. *No es habitual encontrar entre los titulados que trabajan o que se demandan por Centros de este tipo a los ingenieros industriales. ¿Estima que sea debido a ausencias en su formación? ¿Sería interesante incorporarles algún contenido complementario para que alguna especialidad accediese con más base a esa rama de la investigación cada vez más potente?*

JLMP. En el ILL tenemos 3 tipos de ingenieros digamos "tipo industriales". Por un lado tenemos ingenieros con fuerte perfil en electrotecnia de potencia y en hidráulica, en todas las áreas relacionadas con el funcionamiento del reactor (circuitos eléctricos, primario/secundario de refrigeración…). Segundo, tenemos Ingenieros en el diseño y construcción de instrumentos o elementos de tecnología neutrónica, por ejemplo en grandes recintos de vacio hechos en acero o aluminio, que implica fuerte solicitaciones mecánicas. También en sistemas (chopper) que hacen girar discos a grandes velocidades y por tanto con fuerzas equivalente a varias g (gravedad). En general son ingenieros con una elevada formación en mecánica. Finalmente (los menos) en el área de investigación científica para análisis con técnicas no destructivas. En general y tal vez pecando de osadía, ya que no conozco en detalle el curriculum de estudios de la Ingeniería Industrial, creo que para encontrar más ingenieros industriales en centros tipo el ILL sería conveniente reforzar la formación en el área de ciencias básicas (físicas), como en Francia que existe el ingeniero llamado Ingeniero en Física.

D. *Agradecemos sinceramente su colaboración por orientarnos en este, poco habitual para nosotros, campo de la tecnología y le ofrecemos estas líneas por si desea añadir algo más a lo ya expuesto.*

JLMP. Para acabar me gustaría dar a conocer que la participación de España en el ILL se puede considerar como un ejemplo modélico de buen hacer. Las primeras colaboraciones se iniciaron en 1987 con la firma de un contrato de colaboración de España y el ILL por un porcentaje de tiempo de haz mínimo (0.25%). Actualmente, 25 años más tarde, el uso de científicos y técnicos españoles del ILL roza el 6%. España en técnicas de neutrones es probablemente el cuarto país de Europa (tras Alemania Francia y el Reino Unido), en una posición muy parecida a Italia y Suiza. En este sentido las instituciones de investigación europeas han mostrado que en Europa podemos colaborar y trabajar unidos y que la Europa de la Investigación funciona mucho mejor que otras integraciones europeas. Creo que en técnicas de neutrones estamos en el nivel que nos corresponde y hay pocas disciplinas de investigación en las que estamos a ese nivel. Por tanto espero que los esfuerzos científicos y financieros españoles en esta área se puedan mantener en el futuro cercano. Todos sabemos que mejorar y hacer las cosas bien cuesta mucho esfuerzo y dinero, pero perder nuestro nivel se puede hacer muy rápidamente y por periodos muy largos para una posterior recuperación.