

CIENCIA INTERDISCIPLINAR EN EL CENTRO DE MICROANÁLISIS DE MATERIALES

*Gastón García López
Jorge Álvarez Echenique*

Centro de Micro-Análisis de Materiales, Universidad Autónoma de Madrid

*Andrés Redondo Cubero
Nuria Gordillo*

Centro de Micro-Análisis de Materiales y Departamento de Física Aplicada, UAM

RESUMEN

En este artículo se presenta el Centro de Micro-Análisis de Materiales (CMAM), de la Universidad Autónoma de Madrid, como un punto de encuentro para aplicaciones científicas en diversos campos, basadas en el uso de un acelerador de iones y otros instrumentos científicos complementarios. Para guiar al lector a través de los muy diversos campos de aplicación se explican brevemente ejemplos de proyectos científicos en curso y se concluye con una reflexión sobre la relevancia de las grandes infraestructuras científicas, como es el caso del CMAM.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Micro-Análisis de Materiales (CMAM) es un centro propio de investigación de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) cuyas actividades giran en torno a un instrumento singular: su acelerador de iones tipo tándem de 5 millones de voltios. Este equipamiento, único en España y poco común a nivel europeo, acompañado de un conjunto de líneas experimentales, permite abordar un amplio abanico de problemas científicos en campos muy diversos. El conjunto de sus instalaciones pertenece a la red nacional de Infraestructuras Científicas y Tecnológicas Singulares (ICTS) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

El CMAM tiene como misión, según su vigente plan estratégico, *llevar a cabo, en colaboración con una amplia comunidad multidisciplinar de usuarios, actividades de investigación usando haces de iones e instrumentos complementarios, generando impactos científicos, resultados de innovación y contribuyendo a la formación de estudiantes mediante el uso de los elementos singulares presentes en la instalación.* Para ello, cuenta con un equipo humano fuertemente comprometido y con unas instalaciones descritas a continuación.

2. LAS INSTALACIONES DEL CMAM

El CMAM está situado en el campus de Cantoblanco de la UAM, y cuenta con un edificio construido a medida para alojar su acelerador de iones con las instalaciones complementarias necesarias. Su construcción se inició en el año 2000, quedando inaugurado en marzo de 2003, hace veinte años en el momento de escribir estas líneas. La parte más singular del edificio es su bunker, con muros de hormigón de 1 m de espesor, que asegura que el acelerador puede funcionar a pleno rendimiento con total seguridad para su operación remota desde la sala de control, situada junto a la cara exterior del muro del bunker, así como para el resto de personal trabajando en sus instalaciones. Si bien, con frecuencia, el acelerador opera en condiciones que no generan radiación y permiten trabajar durante los

experimentos dentro del bunker, existen experimentos específicos en los que el acceso a éste, queda limitado de manera similar a lo que sucede, por ejemplo, en una instalación clínica de radioterapia.

El acelerador de iones del CMAM es de tipo tándem con una tensión máxima de 5 millones de voltios. Los iones se producen en dos fuentes distintas, dependiendo de la especie y facilidad para conseguirla en estado gaseoso o sólido (Ver Fig. 1). Estas fuentes permiten extraer los iones con un estado de carga -1, es decir, con un electrón adicional sobre la configuración neutra natural en un átomo o molécula. Son entonces preacelerados con tensiones electrostáticas de unos pocos miles de voltios, y finalmente inyectados en la columna de aceleración principal, donde su energía aumenta hasta un valor de un máximo de 5 megaelectrón-voltios, MeV (siendo un electrón-voltio la energía que adquiere una carga del valor de un electrón al acelerarse en un campo eléctrico entre dos puntos con una diferencia de potencial de un voltio).

El acelerador funciona en dos etapas. En la primera etapa los iones negativos son atraídos por el voltaje positivo del acelerador, viajando a lo largo de su tubo de alto vacío (donde se ha evacuado prácticamente todo al aire). En la segunda etapa, los iones se transforman en positivos, de manera que el mismo voltaje hace que sean repelidos hacia la salida del acelerador. El proceso de transformación de carga se hace en el centro de tanque, y se produce gracias al paso de los iones por un gas de nitrógeno controlado que les hace perder varios electrones. La principal ventaja de las dos etapas es que la energía final de la partícula puede ampliarse mucho, pues la energía es proporcional al estado de carga utilizado. De esta manera, aunque el máximo voltaje es de 5 MV, la energía máxima puede llegar a ser hasta 50 MeV.



Fig. 1: Zona de las fuentes de iones, inyector e imán de baja energía

Una vez acelerados los iones, éstos son desviados por un gran electroimán a una de las varias líneas experimentales instaladas dentro del mismo bunker. A lo largo de las líneas se disponen una serie de elementos de control y diagnóstico del haz de iones, de manera que sea posible verificar en todo momento que sus propiedades son las adecuadas para el experimento en curso. Al final de cada una de las líneas se dispone una estación experimental en la que pueden colocarse objetos (*muestras*), que van a ser bombardeados por el haz de iones para analizar o modificar de forma controlada sus propiedades a nivel microscópico.

El CMAM dispone actualmente de seis líneas experimentales, una de ellas con dos estaciones experimentales. En ellas se pueden estudiar reacciones nucleares de interés astrofísico, analizar las propiedades de objetos de nuestro patrimonio cultural, irradiar materiales para cambiar sus propiedades eléctricas u ópticas, o cultivos celulares para entender mejor cómo funcionan los métodos clínicos de radioterapia, analizar la composición atómica como función de la profundidad en láminas

submicrométricas, esenciales para diversas aplicaciones tecnológicas, o construir mapas de composición con resolución lateral micrométrica que nos revelen la presencia de elementos de muy baja concentración en una muestra heterogénea. La descripción de las líneas del CMAM puede encontrarse en algunas de las publicaciones científicas ubicadas en la página web del CMAM (www.cmam.uam.es).

En las figuras 2 y 3 se muestran dos perspectivas del acelerador del CMAM y sus líneas experimentales.



Fig. 2: Acelerador tándem de 5 MV del CMAM junto al imán conmutador.

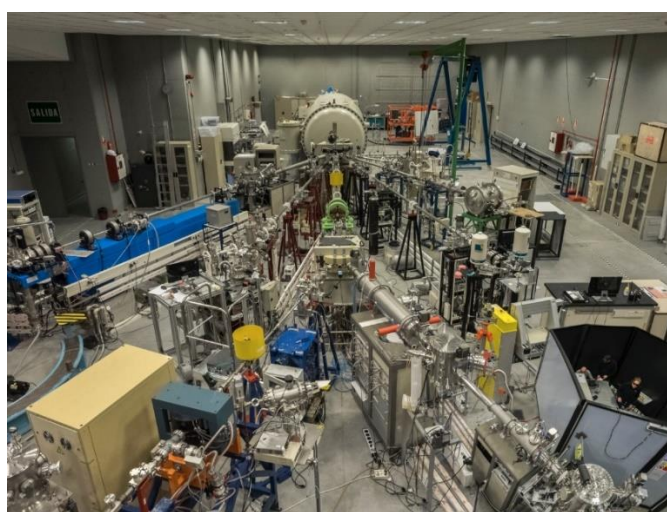


Fig. 3: Líneas experimentales del CMAM, con el acelerador visible al fondo.

3. ALGUNOS PROYECTOS CIENTÍFICOS EN CURSO EN EL CMAM

El funcionamiento del CMAM conjuga el desarrollo de proyectos propios, llevados a cabo por el personal adscrito al centro que desarrolla sus actividades regularmente en sus instalaciones, con otros proyectos colaborativos con *usuarios* externos. Dichos usuarios son científicos de la UAM o de cualquier otra institución española o internacional, que han solicitado la realización de un experimento en el CMAM en una de las convocatorias periódicas (siete cada año), y han recibido la aprobación de un panel de expertos independientes. Esta forma de operar, junto con sus equipamientos singulares y la experiencia de su equipo de científicos y técnicos, ha permitido que el CMAM haya sido recientemente reconocido como *infraestructura científico-técnica singular* (ICTS). El equilibrio entre el programa científico propio y el programa abierto a usuarios es uno de los elementos clave en el funcionamiento de

una gran infraestructura científica. Si se pone demasiado peso en el programa científico propio, la infraestructura pierde la potencialidad de tener un efecto multiplicativo sobre la producción científica de una amplia comunidad de usuarios.

Por otra parte, si el peso del programa propio es demasiado débil la infraestructura tiende a perder competitividad y dejar de aplicar las técnicas experimentales y de análisis más avanzadas. El equilibrio entre estos dos elementos es lo que produce un óptimo rendimiento, justificando así las inversiones necesarias para construir y operar una gran infraestructura científica. En el caso del CMAM, el cual se encuentra en uno de los campus universitarios más dinámicos de España, se apoya también sobre un tercer pilar, igualmente importante: el uso de la instalación como herramienta de formación para estudiantes de diversas disciplinas.

Uno de los proyectos en curso en el CMAM tiene que ver con el estudio de diversas reacciones nucleares. El objetivo es medir con precisión su sección eficaz (una medida de la probabilidad de que suceda la reacción nuclear en unas condiciones determinadas), así como el estudio detallado de los estados finales que se producen en la reacción. Estos experimentos se realizan en las dos ramas de la línea de Física nuclear, liderados por el grupo del Instituto de Estructura de la Materia del CSIC, que colabora activamente con el CMAM como grupo adscrito al centro, en colaboración con otros grupos de usuarios de varias instituciones.

Los experimentos implican detectores sofisticados que rodean el punto en el que el haz de iones interacciona con una muestra con la composición adecuada, preparada cuidadosamente para generar la reacción de interés. Este tipo de detectores implica, en particular, un sistema de adquisición de datos muy complejo, que permite registrar toda la información relevante en el proceso que se estudia. Estas reacciones nucleares son muy importantes para completar y refinar modelos de interés astrofísico, así como para procesos de nucleosíntesis en las estrellas o para modelizar el fondo sobre el que se busca discriminar una eventual señal, por ejemplo, en experimentos diseñados para buscar la detección experimental de materia oscura, entre otros.

El CMAM tiene también un programa propio de investigación en radiobiología, en este caso en estrecha colaboración con varios grupos externos, en particular con el grupo de Física Nuclear de la Universidad Complutense de Madrid. Las actividades de investigación en este campo se enfocan en el estudio de la interacción entre los haces de protones y el material biológico, con el objetivo de entender mejor diversos aspectos relevantes en las terapias de radioterapia para el tratamiento del cáncer. Muy en particular se trabaja en el estudio de cómo la velocidad a la que se deposita la dosis puede afectar a sus efectos en el tejido, potencialmente mejorando la preservación del tejido sano cuando las tasas son muy altas y así ensanchando la ventana terapéutica (efecto FLASH).

Un tercer ejemplo es el estudio de materiales cuánticos, diseñados para aplicar el uso de estados cuánticos en sistemas experimentales determinados a la realización de funciones tecnológicas concretas. En particular, se trabaja en clarificar el efecto de la irradiación con iones de diversos tipos y energías en la obtención y optimización de un tipo concreto de defecto en muestras de diamante sintético, el conocido como *centro NV*⁻, que se considera uno de los sistemas más prometedores para funcionar como *qbit* en computación cuántica, así como en otras aplicaciones de detección cuántica (*quantum sensing*).

4. EL CMAM COMO PUNTO DE ENCUENTRO PARA GENERACIÓN DEL CONOCIMIENTO; IMPACTO Y CONCLUSIONES

El CMAM es una infraestructura de investigación (RI) de tamaño medio. El papel de las RIs constituye un elemento clave en el tejido científico-innovador de un país avanzado. Efectivamente, resulta ampliamente reconocido que un sistema de ciencia e innovación ambicioso debe conjugar la existencia de centros de investigación, desde los que surgen las iniciativas investigadoras, con elementos transversales complementarios (RIs) que proporcionan herramientas de excelencia y mejora de su

rendimiento científico a los grupos de múltiples instituciones, que acceden a las RIs como usuarios. Las RIs que tienen un grado de complejidad apreciable necesitan para su buen funcionamiento combinar y equilibrar dos elementos sinérgicos: su programa de usuarios y sus líneas de investigación propias. Si se pone demasiado peso en el programa de usuarios las RIs complejas tienden a perder competitividad, ya que las técnicas y metodologías avanzan muy rápidamente y pronto se llega a una situación de estancamiento y obsolescencia. Por otra parte, si el peso en el programa investigador propio es excesivo, se desvirtúa el carácter de RI y se pierde el efecto multiplicador sobre las actividades científicas de una comunidad amplia. Por otra parte, está ampliamente reconocido que las RIs tienen un gran potencial como punto de encuentro entre investigadores académicos e industriales, debido a su dinamismo y a su inherente carácter multidisciplinar, favoreciendo en numerosas ocasiones la colaboración entre actores diversos.

El carácter singular de las RIs, como elemento clave de un tejido científico-tecnológico avanzado, ha sido resaltado en diversos ámbitos. A nivel europeo es bien conocida la red ESFRI. En España este enfoque se aplica a través del mapa de ICTS (Infraestructuras científico-técnicas singulares), en el que el CMAM se ha integrado recientemente como infraestructura distribuida de dos nodos, junto con el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) de Sevilla. Diversos estudios sobre el impacto socioeconómico de las actividades de investigación e innovación se han enfocado específicamente en el papel de las RIs, y su especial capacidad para activar impactos a diferentes niveles, no limitados a la vía tradicional de generación de conocimiento y su reflejo en publicaciones científicas.

La interacción con la industria, tanto como suministradora de equipos, así como con el papel del usuario en la RI; sumado a las oportunidades de formación para perfiles tanto científicos como técnicos; o a la capacidad de aumentar en la sociedad la sensibilidad sobre la importancia de la ciencia, así como la atracción de las vocaciones científicas entre los más jóvenes, con un esfuerzo especial por acercar la ciencia a las niñas... Todos ellos, son ejemplos en los que el papel de las RIs tiene un carácter singular, fuertemente complementario con los centros de investigación, y que justifican plenamente el reconocimiento de su importancia. El CMAM de la UAM es un buen ejemplo de esta visión, y con esos objetivos su equipo humano trabaja comprometido con la ciencia y la sociedad.

5. BIBLIOGRAFÍA

- A. Redondo-Cubero, M.J.G. Borge, N. Gordillo, P.C. Gutiérrez, J. Olivares, R. Pérez Casero, M.D. Ynsa, *Current status and future developments of the ion beam facility at the Centre of Micro-Analysis of Materials in Madrid*, Eur. Phys. J. Plus 136, 175 (2021). DOI: 10.1140/epjp/s13360-021-01085-9