

ANTECEDENTES DEL PROYECTO:

El presente proyecto se enmarca dentro de un proyecto matriz titulado "Desarrollo y caracterización de materiales nano-estructurados bajo condiciones extremas en sistemas de generación de energía" NANOEXTREM (MAT2012-38541-C02-01) que fue aprobado en la convocatoria del Plan Nacional de I+D+i del 2012 (subprograma de proyectos de investigación fundamental no orientada) por el MINECO, siendo Investigadora Principal Raquel González Arrabal del Instituto de Fusión Nuclear (Universidad Politécnica de Madrid) y del que son miembros oficiales investigadores de la Universidad de Cuyo y de la Comisión Nacional de Energía Atómica en Argentina y de la Universidad de Chile.

Por tanto, el equipo solicitante del Instituto de Fusión Nuclear forma ya con los grupos de Chile y Argentina un consorcio activo incluso desde antes de la concesión del proyecto NANOEXTREM.

En este marco de colaboración venimos realizando diversas actividades con la mayor frecuencia posible, tales como, reuniones de trabajo (en Chile, Argentina y España), asistencia a congresos internacionales de forma coordinada, estancias de investigación, intercambio de estudiantes e impartición de cursos y seminarios. Es evidente que el proyecto que describimos en esta memoria contribuirá de forma decisiva a intensificar estas actividades. Fruto del trabajo común ya realizado tenemos varios artículos científicos (publicados, o en fase de preparación o revisión) así como varias contribuciones en congresos internacionales. Además, debemos mencionar el trabajo realizado en el desarrollo de códigos computacionales y potenciales interatómicos para estudios atomísticos, así como el desarrollo de métodos para crecimiento de muestras con propiedades mejoradas y el desarrollo de instrumentación para irradiación de materiales.

La principal motivación tanto del proyecto NANOEXTREM como de nuestra colaboración con los grupos de Argentina y Chile se centra en el campo de los materiales para aplicaciones en Fusión Nuclear (materiales de fusión). Se trata de un área de actividad muy amplia que incluye la fabricación, irradiación, caracterización y modelización de materiales resistentes a las condiciones de irradiación esperadas en los distintos componentes necesarios para construir una planta de potencia por Fusión Nuclear. Dada la situación energética actual, claramente marcada por un aumento de la demanda de energía y las tensiones geoestratégicas y medioambientales derivadas del uso masivo de combustibles fósiles, el desarrollo de plantas de fusión constituye una alternativa muy atractiva. En este sentido se han construido varias instalaciones experimentales siendo las más destacables NIF y LMJ en fusión por confinamiento inercial y JET en fusión por confinamiento magnético. Actualmente, se está trabajando en grandes proyectos, como ITER en fusión por confinamiento magnético, LIFE (<https://life.llnl.gov/>) o HiPER en fusión por confinamiento inercial (www.hiper-laser.org/) conducentes al estudio de viabilidad científico tecnológica de la Fusión Nuclear como fuente de energía.

Está ampliamente aceptado en la comunidad de Fusión Nuclear que la falta de materiales adecuados constituye un cuello de botella en el desarrollo de plantas de fusión. Es por esto que los grandes proyectos de Fusión prestan gran atención a los temas relacionados con el estudio y desarrollo de materiales resistentes a las condiciones de irradiación esperadas en planta de potencia.

En este contexto y en el marco del proyecto NANOEXTREM, los investigadores del grupo del IFN (UPM) y de las Universidades Latinoamericanas venimos trabajando conjuntamente en la realización de experimentos y simulaciones computacionales con el objetivo de desarrollar materiales más resistentes a la irradiación y al trabajo en condiciones extremas (altos flujos de irradiación, elevadas cargas térmicas). Así hemos trabajado en la optimización del método de depósito para conseguir recubrimientos de wolframio nanoestructurado con buenas propiedades mecánicas, adhesión al sustrato y resistencia a la irradiación [1]. Se ha estudiado el papel de las fronteras de grano en la retención de especies ligeras, que es un factor clave de cara a entender y predecir la vida útil del wolframio, en particular del wolframio nanoestructurado en un ambiente de radiación [2,3]. También, se ha trabajado en el estudio del daño producido por radiación en materiales cerámicos y en espumas [4,5,6].

La importancia estratégica del trabajo es doble: Por un lado, es una oportunidad para buscar el liderazgo en áreas críticas de los materiales de fusión y desde ahí permitir a las entidades participantes su contribución a los grandes proyectos de Fusión (como es el caso del grupo español con su liderazgo en el proyecto HiPER en el área de Materiales) y extender al campo de la Fusión métodos y técnicas aplicados en general a otros ámbitos (como es el caso de la Universidad de Chile en el campo de la descarga de plasmas densos (plasma focus) o de la Universidad de Cuyo en el campo de los métodos atomísticos de simulación). Sin duda, el dinamismo de la Comunidad de Fusión, las oportunidades de desarrollo y las grandes inversiones llevadas a cabo resultan muy atractivas para desarrollar actividades de I+D con un gran potencial de generación de propiedad intelectual y desarrollo industrial. Por otro lado, son bien conocidas las aplicaciones que a partir de los estudios en Fusión se han generado desde los primeros trabajos en los años 50 del siglo XX. En este sentido el desarrollo de nuevos materiales brinda una oportunidad única para el desarrollo de nuevas aplicaciones industriales con muy alto valor añadido. Un ejemplo muy cercano al Instituto de Fusión Nuclear son las actividades llevadas a cabo por la joven empresa Nano4Energy con quien compartimos laboratorio y sinergias, lo que nos permite beneficiarnos de su equipamiento y contactos industriales, a la vez que ellos se ven beneficiados por un continuo flujo de transferencia de tecnología cuyo origen está en nuestra investigación en el área de materiales de fusión y que ha dado lugar a soluciones comerciales en recubrimientos duros (W), lubricantes sólidos (DLC), impermeables (óxidos) u ópticos avanzados (plasmónicos).

Las autoridades científicas en España han entendido el valor de los estudios en Fusión y su retorno a la industria española. Ejemplo de ello es la participación española en ITER siendo Barcelona la sede de Fusion for Energy y el CIEMAT uno de los centros de referencia en la estructura EURATOM. De igual forma, desde los años 80 con la creación del Instituto de Fusión Nuclear, en España se ha mantenido un programa de actividades relacionadas con la investigación en torno a la fusión por confinamiento inercial, financiada mediante numerosos proyectos de los cuales NANOEXTREM es un ejemplo y que nos ha permitido mantener un nivel de reconocimiento y colaboraciones importante a nivel internacional. Así, como se ha mencionado, dentro de la estructura HiPER, el Instituto ha coordinado las actividades relacionadas con el desarrollo de materiales. Además, dado el creciente interés en la formación de nuevas generaciones de científicos e ingenieros, el Instituto ha participado en la creación de uno de los pocos másteres a nivel internacional en el campo, denominado PLAPA y desarrollado conjuntamente con varias universidades europeas. La situación en Argentina y Chile no es

exactamente la misma. Aun disponiendo ambos países de equipamiento y personal cualificados en el campo nuclear hasta fechas recientes no han iniciado el esfuerzo de investigación en Fusión Nuclear. Sin embargo, en ambos casos la promoción de la investigación en el campo se ha reconocido como estratégica y en concreto en lo relativo al estudio de materiales de fusión. En el caso argentino la Comisión Nacional de la Energía Atómica (CNEA) ha aprobado recientemente varias líneas de investigación en Fusión Nuclear que buscan el posicionamiento de la Ciencia argentina a nivel internacional. El Prof. Perlado y el Prof. Rivera del equipo proponente, han sido testigos de primera mano de los planes del CNEA al ser invitados como expertos para impartir un curso de una semana en Buenos Aires (diciembre 2014) a científicos interesados de toda Argentina y Chile.

REFERENCIAS

- [1] "Morphological and microstructural characterization of nanostructured pure α -phase W coatings on a wide thickness range", N. Gordillo, M. Panizo-Laiz, E. Tejado, I. Fernandez-Martinez, A. Rivera, J.Y. Pastor, C. Gómez de Castro, J. del Rio, J.M. Perlado, and R. Gonzalez-Arrabal, *Applied Surface Science* 316 (2014) 1–8.
- [2] "Hydrogen accumulation in nanostructured as compared to the coarse-grained tungsten" R.Gonzalez-Arrabal, M. Panizo-Laiz, N. Gordillo, E. Tejado, F. Munnik, A. Rivera, J.M. Perlado, *Journal of Nuclear Materials* 453 (2014) 287–295).
- [3] "Hydrogen diffusion and trapping in nanocrystalline tungsten", P. M. Piaggi, E. M. Bringa, R. C. Pasianot, N. Gordillo, M. Panizo-Laiz, J. del Rio, C. Gomez de Castro, R. Gonzalez-Arrabal, *Journal of Nuclear Materials* 458 (2015) 233–239.
- [4] "Atomistic modeling of the permanent modification of silica by high density of electronic excitations" A. Rivera, J. Olivares, A. Prada, M.L. Crespillo, M.J. Caturla, E. Bringa, J.M. Perlado y O. Peña-Rodríguez enviado a *Physical Review B*, rapid communications.
- [5] "Atomistic simulations of the mechanical properties of nanoporous gold" J.F. Rodriguez Nieva, C.J. Ruestes, Y. Tang, and E.M. Bringa,., Enviado a *Acta Mat.* 2014.
- [6] "Atomistic simulation of the mechanical response of a nanoporous body-centered cubic metal" S.C.J. Ruestes, E.M. Bringa, A. Stukowski, et al., *Scripta Mat.* 68, 817 (2013).