

PARTICIPACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA EN EL PROYECTO IFMIF-DONES



PILAR ARANDA RAMÍREZ
Rectora Magnífica
UNIVERSIDAD DE GRANADA

La Universidad de Granada, fundada en el año 1531, cuenta con veinticinco centros docentes distribuidos en siete campus, cinco ubicados en la ciudad de Granada, y dos en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

Cada año, la Universidad de Granada cuenta con más de 60.000 estudiantes de grado, posgrado y enseñanzas complementarias, siendo la universidad española que más estudiantes recibe de programas internacionales de movilidad y el destino *Erasmus* más popular de Europa.

El conjunto de personal docente e investigador, administrativos, técnicos y personal de servicios que la conforman, junto con el volumen de estudiantes, la convierte en la cuarta universidad más grande de España.

La Universidad de Granada cuenta con una nutrida red de investigadores, compuesta actualmente por 549 grupos de investigación adscritos al Plan Andaluz de Investigación y un total de 7037 investigadores.

Como datos relevantes derivados de la actividad investigadora [1], la Universidad de Granada se mantiene, a nivel nacional, como la quinta universidad española con mayor producción científica internacional, y la primera universidad de Andalucía con un total de 15.406 artículos en los últimos cinco años, contando en el año 2020 con ocho investigadores altamente citados en las áreas de *Computer Science*, *Engineering*, *Mathematics*, *Agricultura Science*, según los listados de *Clarivate Analytics*, siendo la segunda universidad española con mayor número de investigadores altamente citados.

Además, se mantiene por cuarto año consecutivo entre las 300 mejores universidades del mundo en la última edición del *Academic Ranking of World Universities* de 2020 (Ranking de Shanghai).

El porcentaje de artículos científicos de la Universidad de Granada firmados con instituciones extranjeras es del 54 %, una tasa igual a la media nacional, lo que denota su elevado nivel de colaboración internacional.

Con respecto a la obtención de recursos económicos derivados de investigación, la Universidad de Granada se man-

tiene como una de las universidades más competitivas. En el año 2020 se han logrado 118 proyectos competitivos de investigación del Plan Nacional, con una financiación de casi 12 millones de euros. Situándose como la tercera universidad española que más proyectos consigue.

En el ámbito internacional, cuenta también con una alta participación en las convocatorias del Programa Marco de la Unión Europea que ha ido en considerable aumento en los últimos años. Con respecto al anterior programa marco Horizonte 2020, se solicitaron 978 proyectos, de los cuales se financiaron un total de 118 con una financiación de más de 290 millones de euros.

EL PROYECTO IFMIF-DONES

El programa de fusión europeo [2, 3] marca los principales hitos para desarrollar la energía de fusión, una de las alternativas, con mayor potencial para desarrollar un modelo energético sostenible que responda a las necesidades del ser humano y del planeta. [4]

Dentro de esta hoja de ruta, IFMIF-DONES se identifica como paso clave para investigar y desarrollar los materiales con los que se construirán los futuros reactores de fusión. Esta instalación proveerá de una fuente de neutrones de alta intensidad con características similares a las que se instalarán en un reactor de energía de fusión. El proyecto IFMIF-DONES tiene por objetivo caracterizar el comportamiento de centenas de materiales ante una intensa irradiación de neutrones con un espectro energético centrado en 14 MeV, típicos de las reacciones de fusión. De dicho proyecto se obtendrá la información necesaria para el diseño y construcción de los futuros reactores comerciales. [5, 3]

El Foro Estratégico Europeo de Infraestructuras de Investigación (ESFRI) [6] incluyó en su Hoja de Ruta de 2018 [7] a IFMIF-DONES como proyecto dentro del área de la energía, y actualmente aparece en la Hoja de Ruta de 2021 otorgándole un presupuesto estimado total de 884 millones de euros [8].

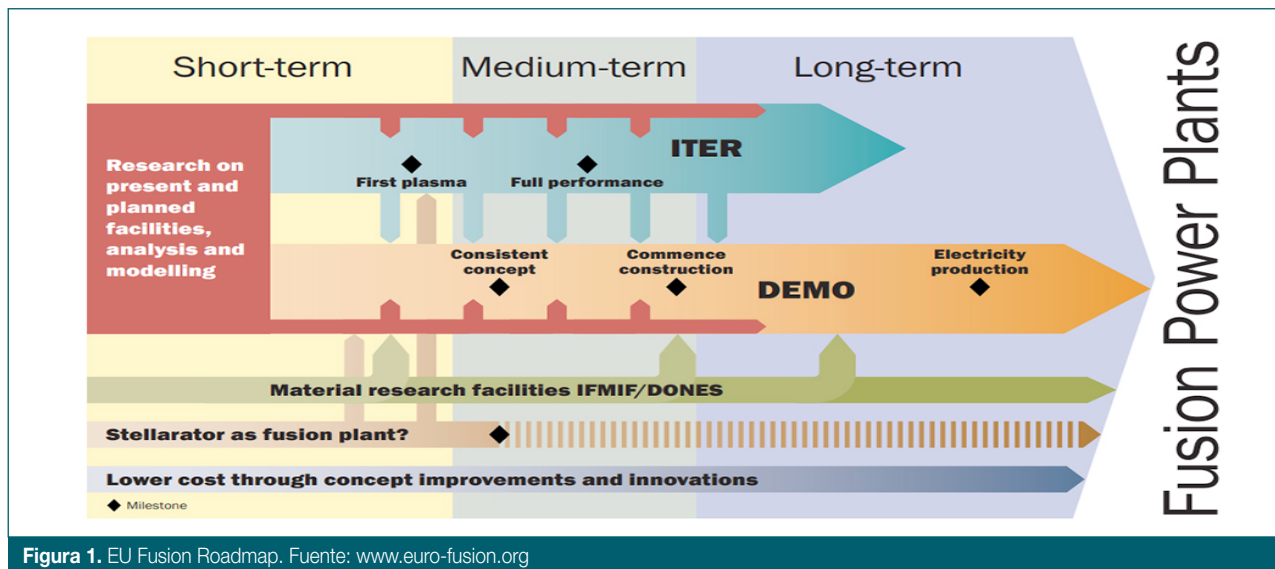


Figura 1. EU Fusion Roadmap. Fuente: www.euro-fusion.org

De esta manera, IFMIF-DONES se convierte en una de las infraestructuras clave de ESFRI, posicionándose como una infraestructura estratégica relevante para los científicos en Europa en el área de la investigación e innovación energética.

FINANCIACIÓN Y LÍNEAS DE ACTUACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA PARA EL IMPULSO Y LA IMPLEMENTACIÓN DE IFMIF-DONES

La Universidad de Granada cuenta con una trayectoria de investigación relevante en áreas de conocimiento fundamentales para el diseño y desarrollo de IFMIF-DONES, trabajando desde el año 2013 en colaboración con el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), tanto en las actividades encaminadas a la promoción y consolidación de la candidatura de la sede de Escúzar (Granada), como en el marco de los principales proyectos relacionados con IFMIF-DONES.

En el marco del proyecto WPENS-DONES (*Work Package Early Neutron Source-Demo Oriented Neutron Source*) financiado por EUROFUSION y cuyo objetivo es avanzar en los diseños de ingeniería de la instalación, la Universidad de Granada participa llevando a cabo diferentes tareas de las áreas de *Timing System*, *Remote Handling*, *Control System*, *Lithium Systems*, y *Project Management*. Asimismo, la Universidad de Granada ha participado en el proyecto *DONES Preparatory Phase* (GA: 870186), financiado por el Programa Euratom 2014-2018, que corresponde a la fase preparatoria del proyecto que se ocupa de los aspectos financieros, jurídicos y organizativos para la construcción de IFMIF-DONES, siendo responsable de varias tareas en las áreas de Comunicación, Propiedad Intelectual, Fondos Estructurales, Evaluación de Impacto Socioeconómico, así como Otros experimentos complementarios con neutrones.

Con el objeto de reforzar la consolidación de Granada como emplazamiento a nivel mundial, la Administración General del Estado (AGE) y la Comunidad Autónoma de Andalucía (CAA) se han venido coordinando para el desarrollo de las diversas actividades que, a nivel nacional e internacional,

han sido necesarias para impulsar la candidatura referida. El acuerdo entre el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía estableció que la financiación para el proyecto se aportaría al 50% entre ambos organismos.

A la Universidad de Granada se le ha asignado una financiación total de 16.300.000,00 euros de los cuales 14 millones de euros están cofinanciados al 80 % con fondos FEDER del programa marco 2014-2020 y 2.300.000,00 euros corresponden a financiación para gastos corrientes.

A continuación, se detallan las principales líneas de actuación definidas por la Universidad de Granada en acuerdo con el CIEMAT para la ejecución de esta financiación que será implementada hasta el 31 de diciembre de 2023.

PRINCIPALES LÍNEAS DE ACTUACIÓN

Oficina Técnica de IFMIF-DONES

La Oficina Técnica de IFMIF-DONES está actualmente formada por ocho personas con formación en ingeniería, y dos técnicos de gestión para ejecutar de forma eficiente las tareas de ámbito técnico y administrativo relacionadas con la implementación de IFMIF-DONES.

El personal de ingeniería se encarga de definir, diseñar y supervisar todo el trabajo técnico (no científico) en el proceso de implantación de IFMIF-DONES, gestionando de manera centralizada los trabajos de diseño, integración, contratación, gestión de calidad, y organización de esta infraestructura.

El personal de gestión es el encargado de las tareas económico-administrativas del proyecto, llevando a cabo la gestión de toda la financiación y proyectos específicos en el marco de IFMIF-DONES.

Contratación de servicios de consultoría y asistencias

Debido a las características específicas de algunas de las tareas a llevar a cabo por la Oficina Técnica, se han previsto

algunas contrataciones para dar soporte de tipo asistencia técnica para complementar algunos aspectos del trabajo necesario. Entre las asistencias previstas están las siguientes:

- Revisión del diseño del SGS (*Service Gas System*) de la planta.
- Prediseño de un Sistema de Gestión Integral de Comunicaciones.
- Revisión y actualización del Plan de Construcción.
- Desarrollo de Diseño del QDS (*Quick Disconnecting System*).
- Revisión de diseño sísmico y optimización del mismo.
- Servicios de soporte a *Modelling 3D* de la planta usando Smartplant.
- Servicios de ingeniería electrónica para apoyo a labores de diseño.
- Servicio para la revisión de los sistemas de alineamiento a usar en el proyecto.
- Revisión de diseño de *Remote Handling*.
- Servicios de revisión del diseño y revisión de construibilidad de la *Test Cell*.
- Servicios de revisión y optimización de diseño estructural del *Main Building*.
- Revisión y Optimización del Plan de Mantenimiento de la Planta.
- Revisión de Sistemas de Control Local y Central del Proyecto.
- Desarrollo e implantación de un sistema para el archivo y uso de toda la documentación existente relativa al proyecto DONES en los distintos proyectos involucrados.
- Confección un informe de análisis coste-beneficio de la implantación de DONES en Granada y servicios de consultoría especializado para el proceso de solicitud como Gran proyecto ante la Comisión Europea.
- Diseños específicos de algunos elementos concretos de la instalación para los que pueden hacer falta capacidades especiales.

Prototipos de componentes de DONES

El objetivo de esta actividad consiste en verificar que algunos de los diseños más complejos previstos para DONES son viables desde el punto de vista de la fabricación así como para comprobar que las condiciones de funcionamiento especificadas son las adecuadas.

Existen varios prototipos que será necesario desarrollar, estudiar y analizar para verificar su funcionamiento entre los que se encuentran:

STUMM (STart-Up Monitoring Module)

Con el prototipo STUMM se pretende chequear las condiciones de radiación en la zona de High Flux. El prototipo servirá para adquirir conocimiento acerca de la instrumentación y aparatos de medida que se dispongan en el mismo, así como ver el comportamiento termo mecánico del elemento, el sistema de refrigeración, etc.

MUVACAS (MULTipurpose VACuum Accidental Scenarios)

El objetivo del prototipo MuVaCas (*MULTipurpose VACuum Accidental Scenarios*) es el de replicar distintos escenarios para determinar qué ocurre cuando se producen determinadas circunstancias “no previstas” pero “no imposibles”

en la línea de transporte del haz a alta energía (HEBT) del acelerador: Rotura de Vacío, Ingreso de Agua, Ingreso de Aire, Helio, Argón...

QDS (Quick Disconnecting System)

Uno de los requisitos a exigir a muchos elementos que componen el proyecto será la posibilidad de montarlos/desmontarlos de forma remota (*Remote Handling*).

El QDS es un sistema de unión entre distintos tramos del conducto por el que circula el haz, el cual permitirá su montaje y desmontaje de forma remota.

Laboratorio de realidad virtual para tareas de manipulación remota en DONES

El objetivo de este laboratorio es la creación de simuladores de realidad virtual de las operaciones de mantenimiento y sustitución con manipulación remota en el entorno de DONES.

La existencia de un entorno virtual durante la realización de tareas de mantenimiento permite generar, mediante el motor de simulación, distintos puntos de vista del estado actual del sistema, dando lugar a una situación similar a si tuviéramos la posibilidad de colocar una cámara en el punto que interesara al operador en cada momento.

Con el objetivo de validar la integración entre el sistema virtual y el sistema de control se propone la creación de un sistema de demostración o maqueta física para la validación del sistema de realidad virtual en tareas de conexión mediante manipulación remota.

Además, se plantea escalar el entorno desarrollado hacia un entorno distribuido donde varios operadores puedan estar visualizando (o incluso controlando) el estado de distintas partes del sistema desde salas/puestos de control situadas tanto dentro como fuera de la propia infraestructura conectada a internet.



Figura 2. Dispositivo de visualización inmersivo (HMD). Fuente: Universidad de Granada.

Otro de los objetivos a abordar es la creación de visitas virtuales a la infraestructura de DONES que permitan (tanto al personal involucrado en el diseño de la planta como al público en general) adentrarse en los entresijos de una gran instalación científica como ésta, permitiendo obtener una perspectiva didáctica del diseño de la instalación.

Laboratorio para el desarrollo de sistemas de control para LIPAc/DONES

El objetivo de este laboratorio es llevar a cabo la simulación de los trabajos de operación desde la sala de control del acelerador, necesaria para poder operar de forma correcta, debido a que en la instalación habrá espacios en los que no será posible el acceso por parte de los operadores, como consecuencia principalmente de la radiación.

Actualmente se está trabajando en la construcción de una sala de control para poder participar de manera remota de la operación del acelerador LIPAc en Japón. Se ha desarrollado una sala con equipos y puestos de trabajo que replica, a pequeña escala, los elementos de la sala de control de LIPAc. Actualmente está desarrollándose el cauce de comunicaciones que permitirá traer los datos de operación (variables de estado de los diferentes elementos del acelerador) a una copia local en Granada.



Figura 3. Sala de trabajo del laboratorio de Control de IFMIF-DONES. Fuente: Universidad de Granada..

Por otro lado se plantea el estudio de técnicas Inteligencia artificial para análisis de datos de LIPAc y Gemelo digital IFMIF-DONES y contribuir con ello en el modelado del acelerador utilizando modelos de Inteligencia Artificial que permitan simular el comportamiento y fenómenos físicos sin necesidad de tener un complejo motor físico de simulación. El objetivo final será conseguir un modelo del sistema de control de IFMIF-DONES susceptible de ser operado como un Gemelo Digital del mismo.

Además se pretende evaluar conceptos y tecnologías de control novedosas necesarias para tomar ventaja completa y utilizar en DONES los conceptos descritos anteriormente. La optimización de los modos de operación y el control en tiempo de ejecución de DONES requiere mecanismos de adquisición del estado de los distintos sensores/actuadores del instrumento de forma eficiente, con alta cadencia temporal pero sin degradar la operación de la máquina. Esto no es posible con las redes de comunicaciones y control convencionales y por ello esta tarea intenta dar solución a este problema.

Centro de Investigación IFMIF-DONES - UGR

El centro de investigación IFMIF-DONES - UGR ha sido concebido como un espacio en el que poder desarrollar una investigación de excelencia en el ámbito del proyecto. Este

edificio favorecerá el desarrollo de actividades científicas y tecnológicas que permitan optimizar la explotación y operación de la instalación pero que no requieran una interacción continua con ella.

Así mismo, este centro se ha planificado con el objetivo de poder reunir grupos de investigación de diferentes áreas (Física, Química, Ciencias de los Materiales, Informática, etc...) que desarrollarán líneas de investigación para favorecer la generación de conocimiento y optimizar las posibilidades de uso de la infraestructura del acelerador.

Algunas de las áreas científico-tecnológicas más relevantes que se pretenden desarrollar son las siguientes:

- El desarrollo de distintos sistemas de diagnóstico avanzados en las diferentes áreas de la instalación (el haz del acelerador, el lazo de litio, diagnósticos de radiación, gases, isótopos radiactivos, etc.)
- La preparación de experimentos de distintas áreas tecnológicas a desarrollar en la futura instalación (cada experimento a desarrollar, requerirá un equipo multidisciplinar que interaccione con los científicos interesados para preparar los diseños de ingeniería e interpretación asociados)
- El estudio de los materiales de interés para fusión y otras áreas tecnológicas

Ubicándose en una parcela de suelo tecnológico de aproximadamente 4.500 m² ubicada frente a la instalación del acelerador. El centro tendrá una superficie construida estimada de 3.500 m².

La finalización de la construcción de este centro de investigación que será pionero en España, está prevista para el primer semestre de 2023.

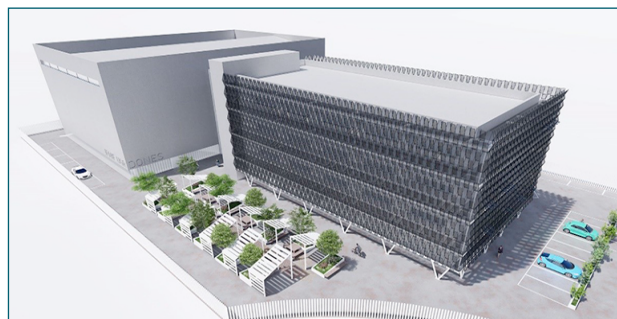


Figura 4. Infografía del Centro de Investigación IFMIF-DONES – UGR. Fuente: Universidad de Granada.

Preparación del emplazamiento

La Universidad de Granada se encuentra en proceso de adquisición de parcelas adyacentes a la parcela principal en la que se ubicará la infraestructura. Se ha planificado la compra de terreno por una superficie aproximada de 35.000 m². Este terreno será empleado inicialmente para instalaciones temporales, obra civil, líneas de suministro, vallados, edificaciones, cimentaciones, redes de servicios, etc. necesarios durante la fase de construcción que durará unos 8-10 años.

Programa de investigación, formación y movilidad IFMIF-DONES

Este Programa de investigación, formación y movilidad pretende formar a científicos e ingenieros que trabajarán en la futura instalación. Esta formación se realizará en los siguientes centros relacionados con la implantación de IFMIF- DONES.

- Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie L'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA-Italia).
- Karlsruhe Institute of Technology (KIT-Alemania).
- National Institutes For Quantum and Radiological Science and Technology (QST-Japón).

Para este cometido se han lanzado hasta la fecha dos convocatorias públicas a las que han podido acceder, personas candidatas de cualquier parte del mundo. Tras la gestión de estas dos convocatorias serán siete las personas que se formen por un periodo estimado de entre 16 y 24 meses en los centros anteriormente indicados. El programa de formación cubre los gastos de salario y facilita complementos por movilidad a todos los investigadores.

Programa de Formación Investigación - Contratos Predoctorales UGR-CIEMAT

Este programa de formación predoctoral en el ámbito del proyecto IFMIF-DONES financia la contratación de personal investigador en formación para el desarrollo de líneas de investigación relacionadas con el proyecto. Para su implementación se ha lanzado una convocatoria pública tras la cual, las trece personas seleccionadas comenzarán su actividad en el mes de febrero del presente año trabajando en las siguientes líneas de investigación:

- Caracterización de los materiales (*getters*) a utilizar en las trampas de impurezas.
- Desarrollo de un diagnóstico de haz basado en receptores de radiofrecuencia para el control del perfil del haz en el blanco.
- Desarrollo de un sistema experto de mantenimiento predictivo en IFMIF-DONES y estimación inteligente de repuestos.
- Diseño de laboratorio de radiología teniendo en cuenta la singularidad de la instalación DONES.
- Estudio de los parámetros hidrológicos de distintos tipos de sistemas de drenaje sostenible (SuDS) susceptibles de ser aplicados en ambientes mediterráneos.
- Estudio las diferentes familias de clusters de intersticiales precursores que se forman en Fe irradiado mediante cálculos *ab initio*.
- Modelización de los sensores del STUMM (*Start-up and Monitoring Module*).

- Simulación de entradas eventuales de aire o agua en la cavidad del acelerador, y de rotura abrupta de la estanqueidad de la cámara de vacío del blanco.
- Aprendizaje profundo por refuerzo para diseño generativo de elementos de seguridad en IFMIF-DONES
- Establecimiento del efecto biológico de los neutrones sobre modelos tumorales *in vitro*.
- Estandarización de la determinación de propiedades mecánicas (tracción, fluencia térmica, tenacidad de fractura, crecimiento de grietas por fatiga) de aceros de baja activación ensayando probetas subdimensionadas.
- Modelización neutrónico-térmica de una irradiación para la estimación detallada de la dosis muestra a muestra a partir de los datos de detectores disponibles
- Producción de isótopos en DONES: análisis exhaustivo de diferentes isótopos y diseño preliminar de su producción industrial.

REFERENCIAS

- [1]. Huertas-García, Carmen; Ríos-Gómez, Claudia; Torres-Salinas, Daniel. Indicadores y estadísticas de investigación UGR 2021. Universidad de Granada, Vice-rectorado de Investigación y Transferencia, Unidad de Evaluación Científica: Granada, 2021
- [2]. EUROfusion. Available online: <https://www.euro-fusion.org>
- [3]. European Research Roadmap LONG VERSION to the Realisation of Fusion Energy. Available online: https://www.euro-fusion.org/fileadmin/user_upload/EUROfusion/Documents/2018_Research_roadmap_long_version_01.pdf
- [4]. Sánchez, J. Nuclear fusion as a massive, clean, and inexhaustible energy source for the second half of the century: brief history, status, and perspective. ENERGY SCIENCE & ENGINEERING (2014) 10.1002/ese3.43
- [5]. IFMIF-DONES website. Available online: <https://ifmifdones.org>
- [6]. European Strategy Forum on Research Infrastructures. Available online: <https://www.esfri.eu>
- [7]. ESFRI ROADMAP 2018. Available online: <http://roadmap2018.esfri.eu/media/1048/rm2018-part1-20.pdf>
- [8]. ESFRI ROADMAP 2021. Available online: <https://roadmap2021.esfri.eu/media/1295/esfri-roadmap-2021.pdf>