

IFMIF-DONES: El acelerador de partículas que convertirá a Granada en el epicentro mundial de la fusión nuclear

Diseñado para simular las condiciones extremas del interior de un reactor de fusión, el acelerador de partículas IFMIF-DONES, que se construye en Escúzar (Granada), será una pieza clave en la carrera por lograr una fuente de energía limpia, segura e inagotable. Esta colossal infraestructura científica, la mayor que se ha desarrollado hasta el momento en España, busca sentar las bases de un nuevo paradigma energético global.

Mónica Ramírez

Los aceleradores de partículas se han convertido en herramientas imprescindibles de la ciencia contemporánea. Desde la búsqueda de las partículas fundamentales hasta la producción de tratamientos contra el cáncer. En Escúzar, una localidad de menos de mil habitantes de la provincia de Granada, la construcción del IFMIF-DONES marca un nuevo hito: un proyecto que pone a España en la vanguardia de la física internacional y abre una nueva era para la energía de fusión y la investigación aplicada.

Este ambicioso proyecto, de nombre completo International Fusion Materials Irradiation Facility - Demo Oriented Neutron Source, representa la mayor inversión científica de la historia de nuestro país, con un presupuesto total de más de 800 millones de euros y una hoja de ruta que abarca décadas de investigación en energía de fusión.

El corazón de la fusión nuclear
IFMIF-DONES no es un acelerador de partículas cualquiera. Su misión es tan concreta como esencial: probar y validar los materiales que se emplearán en los reactores de fusión del futuro, capaces de generar energía limpia, segura e ilimitada. En otras palabras, será la instalación que evaluará qué materiales resisten las condiciones extremas —altas temperaturas, radiación de neutrones, estrés estructural— propias de los futuros reactores como DEMO, la planta experimental que sucederá a ITER.

De ese modo, IFMIF-DONES

se erige como un eslabón insustituible en la cadena científica europea de fusión nuclear, junto al ITER (actualmente en construcción en Francia) y al DEMO. Sin los datos que ofrecerá el acelerador granadino, el diseño y construcción de futuros reactores comerciales no será viable.

Cómo será el acelerador de IFMIF-DONES

IFMIF-DONES será único en el mundo. A diferencia de otros aceleradores enfocados en la física de partículas pura, su propósito es simular las condiciones extremas a las que se verán sometidos los materiales dentro de un reactor de fusión. Para ello, generará un flujo de neutrones de alta energía mediante la aceleración de protones sobre un blanco de litio.

El acelerador de partículas de IFMIF-DONES será de tipo lineal, porque el objetivo de los experimentos que se van a realizar en su interior radica en lanzar partículas contra un blanco determinado, en este caso, una cortina de litio en estado líquido. Esta forma lo diferencia radicalmente del CERN, que es de carácter circular, ya que en la instalación de Suiza se busca determinar el origen de la materia, para lo que se hace circular las partículas a una gran velocidad para cambiar, en un momento determinando, el sentido de la marcha, con el fin de conseguir que las partículas choquen entre sí a altas velocidades.

IFMIF-DONES no será el que más energía-velocidad le imprima a las partículas, pues el CERN es casi

un millón de veces más potente. La clave del acelerador de Granada reside en la cantidad de partículas que puede acelerar a la vez, y en ese sentido será el que más partículas acelere al mismo tiempo a esa energía. Además, el blanco de litio del acelerador granadino será único en el mundo, puesto que nunca antes se ha construido un circuito cerrado de litio tan grande, que gestione hasta diez metros cúbicos de este metal.

Una inversión sin precedentes

El proyecto ha movilizado 700 millones de euros en su construcción, a los que se suman 50 millones adicionales para su puesta en marcha. El coste operativo rondará los 60 millones de euros anuales. España financia el 50% del coste de construcción y el 10% del mantenimiento, a través de un acuerdo entre el Gobierno central y la Junta de Andalucía.

Sin embargo, IFMIF-DONES no es solo una apuesta nacional, ya que participan en su financiación y desarrollo 17 países y organizaciones. Algunos de ellos han suscrito acuerdos clave: Japón aportará un 5% de la construcción y un 8% del mantenimiento, Croacia un 5%, e Italia se ha incorporado recientemente como socio estratégico. Por su parte, la Comisión Europea también ha comprometido 202 millones de euros, consolidando el carácter paneuropeo del proyecto.

Esta red internacional se articula a través del DONES Steering Committee, órgano de coordinación que



Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), acelerador de partículas (Meyrin, en Ginebra, Suiza). Foto: Shutterstock.

garantiza que la instalación cumpla los estándares de investigación fijados por la comunidad científica global.

Para el arranque de las obras, el Consejo de Ministros de España ha aprobado 200 millones de euros. A ello se suma la aportación autonómica: Andalucía ha comprometido más de 400 millones hasta 2034. La Universidad de Granada participa activamente en el desarrollo del proyecto, con un nuevo centro de investigación UGR-DONES y una inversión de 15 millones de euros. También renovará su oferta académica con titulaciones específicas en inteligencia artificial, ingeniería nuclear y ciencia de materiales, claves para abastecer de talento al futuro centro.

El consorcio gestor, IFMIF-DONES España, fue creado en 2021 mediante un convenio entre el Gobierno central y la Junta de Andalucía. La ejecución técnica corre a cargo del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), con participación activa de universidades y empresas andaluzas, especialmente de la Universidad de Granada, que ha impulsado un centro de investi-

gación vinculado y nuevos programas formativos.

Más allá de la investigación energética, el proyecto tiene implicaciones económicas y sociales profundas. Según estimaciones de la Universidad de Granada, el impacto sobre el PIB andaluz será de al menos 6.000 millones de euros. Solo durante su fase operativa se requerirán más de 1.000 trabajadores (empleo directo), incluyendo 400 científicos e ingenieros de alto nivel.

Aplicaciones más allá de la energía

Aunque la energía de fusión es el eje central del proyecto, IFMIF-DONES abrirá nuevas vías de investigación en campos como la medicina nuclear, la astrofísica, la física básica o la industria aeroespacial. Uno de los usos más prometedores será la producción de molibdeno-tecnecio, un radioisótopo esencial en el diagnóstico oncológico por imagen, hoy producido únicamente en seis reactores en todo el mundo.

De este modo, la instalación puede convertirse en uno de los pocos centros globales capaces de garantizar el suministro de este elemento

clave para los hospitales españoles y europeos, reduciendo la dependencia del extranjero en el diagnóstico por imagen.

Horizonte 2033

El calendario del proyecto contempla que el acelerador comience a irradiar de forma sistemática en 2033, entregando los primeros datos en 2035. Para entonces, ITER habrá generado suficiente información sobre la viabilidad técnica de la fusión, y DEMO se estará preparando como la primera planta capaz de producir electricidad a escala industrial. Sin IFMIF-DONES, el desarrollo de DEMO no sería posible.

Por ello, Granada, desde Escúzar, se convierte en el centro neurálgico del futuro energético europeo. Como consecuencia de ello, este municipio ya está experimentando una transformación: se han mejorado infraestructuras como las telecomunicaciones y las conexiones por carretera, y el parque industrial se revitaliza con la llegada de empresas como Amazon o Lidl, atraídas por la proyección internacional del proyecto. El ayuntamiento cedió los terrenos con la

¿Qué es un acelerador de partículas?

- Es una máquina que acelera partículas subatómicas usando campos electromagnéticos.
- Puede ser lineal o circular.
- Se usan para colisiones que permiten estudiar la materia, producir radioisótopos o tratar cáncer.



Glosario rápido

- **Bosón de Higgs:** Partícula que otorga masa a otras partículas.
- **Sincrotrón:** Tipo de acelerador circular que produce luz de alta energía.
- **Fusión nuclear:** Proceso mediante el cual dos núcleos atómicos se unen para formar uno más pesado, liberando energía.
- **Neutrón:** Partícula subatómica sin carga, esencial en reacciones nucleares.



Aplicaciones de los aceleradores

- Medicina:** Radioterapia, radiofármacos, protonterapia
- Ciencia:** Análisis de proteínas y experimentos de física fundamental.
- Industria:** Semiconductores, esterilización, modificación de materiales.
- Energía:** Validación de materiales para fusión nuclear, transmutación de residuos.
- Cultura:** Análisis no invasivo de obras de arte y piezas arqueológicas.

leradores de plasma láser, prometen reducir el tamaño y coste de estas instalaciones, haciéndolas más accesibles y eficientes.

Aceleradores de partículas: las máquinas que abren las puertas del universo

En las entrañas de instalaciones científicas de gran escala, como las del CERN en Suiza o las que comienzan a tomar forma en Granada, rugen silenciosamente máquinas que han revolucionado nuestro entendimiento del cosmos: los aceleradores de partículas. Estas enormes estructuras, que podrían parecer artílugos de ciencia ficción, son en realidad instrumentos imprescindibles en la física moderna, y su impacto va mucho más allá de la teoría: están cambiando la medicina, la industria, la energía y hasta la arqueología.

A grandes rasgos, un acelerador de partículas es una máquina que impulsa partículas subatómicas —como electrones, protones o núcleos atómicos— a velocidades altísimas, muy cercanas a la de la luz. Estas partículas son aceleradas mediante campos eléctricos y dirigidas mediante campos magnéticos. El objetivo es hacerlas colisionar entre sí o contra un blanco para observar qué sucede.

Cuando estas colisiones ocurren, liberan una enorme cantidad

visión de convertir la localidad en un polo científico-tecnológico de referencia.

Proyectos como el IFMIF-DONES muestran el futuro de los aceleradores. Esta instalación única permitirá estudiar materiales para futuros reactores de fusión nuclear, una fuente de energía limpia, segura e inagotable, similar a la que se produce en el Sol.

En combinación con el reactor experimental ITER (Francia) y el futuro reactor DEMO, IFMIF-DONES será esencial para validar materiales capaces de resistir las condiciones extremas de un reactor de fusión. Su contribución podría resolver uno de los grandes retos de la humanidad: la crisis energética. Además, nuevas tecnologías de aceleración, como los ace-



Túnel del antiguo gran colisionador de electrones y positrones del CERN donde se encuentra en la actualidad el gran colisionador de hadrones (el mayor del mundo).
Fuente: Wikimedia Commons/ Juhanson /CC BY-SA 3.0.



Imagen aérea del Fermilab (Chicago, en EE.UU), uno de los aceleradores más grandes del mundo. Fuente: Wikimedia Commons/Fermilab, Reidar Hahn/Dominio Público.

de energía y generan otras partículas, muchas de ellas inestables y de vida efímera, que ofrecen pistas sobre la estructura más profunda de la materia. De hecho, gracias a estos experimentos, hoy sabemos que el universo está compuesto por partículas fundamentales como los quarks, los leptones o los bosones, algunas de las cuales solo pueden observarse durante estas breves fracciones de segundo.

Los aceleradores pueden clasificarse según la trayectoria que siguen las partículas en su interior:

- **Aceleradores lineales (linac):** las partículas se desplazan en línea recta a través de una sucesión de campos eléctricos. Son comunes en terapias médicas y en etapas iniciales de aceleración.
- **Aceleradores circulares:** las partículas se mueven en anillos guiadas por potentes imanes. Cada vuelta les permite ganar más energía. El más famoso es el Gran Colisionador de Hadrones (LHC), ubicado en el CERN.
- **Ciclotrones y sincrotrones:** variantes de aceleradores circulares que permiten alcanzar diferentes niveles de energía según sus aplicaciones. Por ejemplo, los ciclotrones son esenciales para producir radioisótopos usados en diagnóstico médico.

Algunos aceleradores tienen tamaños colosales: el LHC tiene un perímetro de 27 km. Otros, como los usados en hospitales, caben en una habitación. Su diseño depende de su propósito.

El CERN y el LHC: descubriendo el bosón de Higgs

El CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), en la frontera entre Suiza y Francia, es la cuna de la física de partículas moderna. Allí se encuentra el Gran Colisionador de Hadrones, un acelerador circular donde se han realizado algunos de los experimentos más importantes de la historia.

En 2012, el LHC permitió descubrir el bosón de Higgs, la última pieza del Modelo Estándar de la física, responsable de que las partículas tengan masa. Fue un hito comparable al descubrimiento del ADN o la llegada a la Luna.

Pero el impacto del CERN no se limita a la física teórica. En sus laboratorios también nació la World Wide Web, desarrollada originalmente para compartir datos científicos. Además, tecnologías como los superconductores, los sistemas de vacío o los detectores de partículas han tenido derivaciones en medicina, telecomunicaciones y hasta inteligencia artificial.

Aplicaciones en medicina

Uno de los campos más transformados por los aceleradores es el de la medicina. Gracias a ellos se realiza la terapia de protones, una forma de radioterapia más precisa y menos invasiva para tratar tumores, especialmente en pacientes pediátricos. Se producen radioisótopos, utilizados en pruebas de diagnóstico por imagen, como la tomografía por emisión de positrones (PET), y se desarrollan aceleradores compactos para tratamientos oncológicos en hospitales de todo el mundo.

Estos avances permiten tratamientos más efectivos y menos dañinos para el tejido sano, representando una revolución en la lucha contra el cáncer.

Impacto en la industria, la arqueología y el medio ambiente

En la industria, los aceleradores permiten modificar materiales para hacerlos más resistentes, esterilizar equipos médicos o alimentos sin utilizar químicos, y fabricar semiconductores para ordenadores y móviles.

En la arqueología, permiten estudiar piezas históricas sin dañarlas, identificando materiales, pigmentos o técnicas de fabricación. En el medio ambiente, se exploran usos como la transmutación de residuos nucleares o la generación de neutrones para energías limpias.