

Una mirada a la fusión nuclear y su aplicación en física médica

La fusión nuclear

Para comprender la *fusión nuclear*, primero debemos entender que ella tiene lugar en dimensiones y proporciones extremadamente pequeñas, ya que se trata de una interacción entre núcleos atómicos. La escala natural humana es el metro. El cuerpo humano está formado por células, cada una de las cuales es aproximadamente 100.000 veces más pequeña que el metro. Las células están formadas por moléculas, y estas, a su vez, por átomos. El tamaño del átomo es del orden de 10^{-10} m. A su vez, el *núcleo atómico* ocupa una porción muy pequeña del átomo, unos 10^{-15} m (un femtometro, que es la milbillonésima parte de un metro). Los núcleos, ante determinadas condiciones y estímulos pueden relacionarse entre sí (interactuar, por ejemplo, a través de colisiones), dando lugar a reacciones, que por tratarse de núcleos se denominan *nucleares*. Cuando estas reacciones suceden, van acompañadas de transferencia de energía y/o de partículas como el neutrón. La *fusión nuclear* es una familia de reacciones que consiste en alguna forma de *unión de núcleos pequeños*. Dentro de esta familia, se encuentra la *fusión entre el deuterón y el tritón*, denominada DT. Ambos núcleos están relacionados con el átomo de hidrógeno (constitutivo del agua junto con el oxígeno, por ejemplo). La fusión DT tiene la particularidad de que se puede producir con requerimientos relativamente bajos de energía (hablando en términos nucleares) y resulta una de las más fáciles de producir artificialmente. Durante la misma, los dos núcleos originales se unen y emiten como productos una partícula alfa¹, un neutrón y la liberación de una gran cantidad de energía², que puede llegar a ser miles de veces la energía necesaria para producir la fusión. Cabe destacar que la reacción DT es muy tentadora para una diversidad de aplicaciones, pues tiene el potencial de producir mucha energía (en forma ecológica y con muy alto rendimiento) y de producir muchos neutrones (partículas difíciles de conseguir, que resultan de utilidad en varias aplicaciones), a partir de precursores que se encuentran abundantemente en la naturaleza, como lo son el agua y el litio. Estas características le han conferido a la fusión la posibilidad de ser incluida, desde hace ya varias



Autor **Manuel Szejnberg**

Ingeniero en Física Médica (Univ. Favaloro)

Doctor en Ingeniería (Purdue University - EUA)

Investigador Aplicaciones Nucleares para la Salud

Docente Universitario

Jefe División Subcoordinación Instrumentación y Fuentes Radiantes (Dpto. Coordinación BNCT - GlyDANS - GAMNyR - CNEA)

Director de la Carrera de Ingeniería en Física Médica (FICEN - Univ. Favaloro)

décadas, en diferentes aplicaciones industriales³. Existen dispositivos de pequeña escala (entre los 10 cm y el metro, aproximadamente), que utilizan con tal fin abordajes basados en fusión DT y se los conoce como *generadores de neutrones*. Además, se desarrollan *aceleradores de partículas* con tamaños de algunos cuantos metros, que pueden producir neutrones aún con mayor intensidad.



Fig. 1 - Generador de neutrones basado en fusión nuclear por confinamiento inercial electrostático de NSD-Gradél-Fusion. (Fuente: El autor)

Aplicaciones en física médica

El avance tecnológico sobre estos tipos de dispositivos permite hoy en día pensar en llevar la fusión DT a aplicaciones dentro de las disciplinas físico-médicas, como en la producción de *radioisótopos medicinales* o la *terapia por captura neutrónica en boro* (BNCT). La medicina nuclear se desarrolla utilizando una amplia gama de *radiofármacos*⁴ que se administran a los pacientes, para concentrarse en tejidos y/u órganos específicos. Muchos se emplean con fines diagnósti-

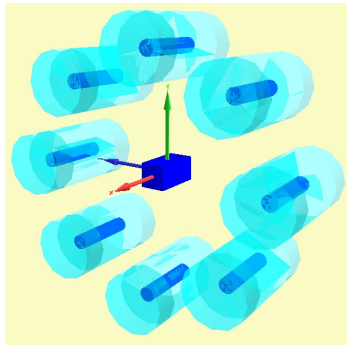


Fig. 2 - Esquema conceptual donde se aprecian los generadores de neutrones dispuestos periféricamente, y la cavidad central donde se ubicaría la muestra a ser irradiada. (Gentileza: El autor)

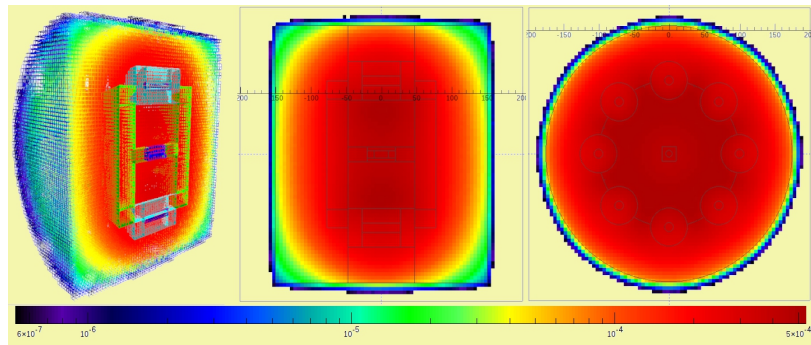


Fig. 3 - Como ejemplo se muestran tres vistas diferentes del resultado de la simulación de irradiación neutrónica de una muestra. Los distintos colores indican la variación de la intensidad del flujo neutrónico, expresados en neutrones/cm² por emisión de las fuentes. (Gentileza: El autor)

cos, como en diferentes modalidades de tomografías, y otros para terapias como las oncológicas. Los primeros utilizan las radiaciones que se escapan del cuerpo para visualizar regiones enfermas; los segundos utilizan las radiaciones que no pueden escapar del cuerpo para que hagan blanco en tales regiones y eventualmente las eliminen. Dentro de los radioisótopos utilizados hay una gran parte de ellos que se produce a través de *activación neutrónica*, o sea, se irradia con neutrones un compuesto para que sus núcleos los absorban y se vuelvan radiactivos. En el caso de BNCT, se administra *boro no-radiactivo* a un paciente afectado con determinado tipo de cáncer, y luego se realiza una irradiación neutrónica sobre la región con el tejido enfermo. El boro acumulado en la zona irradiada captura neutrones, activándose y emitiendo radiación de alta energía, que daña el tejido canceroso. En ambos casos, se hace fundamental la existencia de fuentes de neutrones.

Abordajes locales

La División Instrumentación y Dosimetría, dentro del marco del Proyecto BNCT de la CNEA, ha estado realizando estudios computacionales de simulación sobre la posibilidad de producir a partir de la fusión nuclear, haces de neutrones con calidad, energía e intensidad, adecuadas para su aplicación en BNCT. En este abordaje se han considerado generadores de neutrones, incluyendo reactores por confinamiento inercial-electrostático (Fig. 1), aceleradores ultra-compactos y aceleradores electrostáticos, que pueden resultar relativamente económicos y versátiles para ensamblar sistemas modulares en una habitación de un centro hospitalario. En base a los estudios se han determinado valores condicionantes y desarrollado diseños de sistemas de irradia-

ción que podrían, en un futuro cercano, dar lugar a diferentes implementaciones. Uno de los diseños es la *cavidad de irradiación neutrónica basada en fusión nuclear* (CINBF). Este sistema consta de un conjunto de generadores de neutrones dispuestos alrededor de la muestra a ser irradiada (ver Fig. 2). El objetivo principal de esta línea de trabajo comenzada en 2009 es realizar una instalación hospitalaria para BNCT de órgano explantado. La aplicación podría extenderse a irradiaciones en otros marcos clínicos y de investigación y desarrollo como la activación intrahospitalaria de pequeñas cantidades de radiofármacos e irradiación de tejidos orgánicos con diferentes motivos; estudio del plasma en condiciones de fusión; ensayos de daños de materiales por irradiación tanto en el campo de fusión como en otros; y ensayos por activación neutrónica. Otro objetivo involucrado es el de contribuir al desarrollo de ciencia y tecnología de *fusión controlada* en CNEA.

REFERENCIAS

- 1 Núcleo del helio-4, compuesto por dos protones y dos neutrones.
- 2 De allí que la generación de energía eléctrica por medio de la fusión está siendo investigada y desarrollada desde las primeras décadas del siglo pasado.
- 3 Una de particular interés es la producción de neutrones, para activación de núcleos e inspección neutrónica de estructuras materiales varias, como el contenido de contenedores en control aduanero.
- 4 Sustancias químicas útiles para diagnosticar o tratar enfermedades, que contienen átomos cuyos núcleos están "excitados" (son radiactivos) y se "desexcitan" emitiendo radiaciones.

SIGLASEMPLEADAS

- BNCT: Siglas en inglés de Terapia por Captura Neutrónica en Boro
- CINBF: Cavidad de irradiación neutrónica basada en fusión nuclear
- CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica
- EUA: Estados Unidos de América
- FICEN: Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales
- GAMNyR: Gerencia de Área Medicina Nuclear y Radioterapia
- GlyDANS: Gerencia Investigación y Desarrollo en Aplicaciones Nucleares a la Salud

Publicación a cargo del Dr. Daniel Pasquevich y la Lic. Stella Maris Spurio.
Comité Asesor: Ing. Hugo Luis Corso - Ing. José Luis Aprea.
Responsable Científico: Dr. Gustavo Durfo.
Versión digital en www.cab.cnea.gov.ar/ieds
Los contenidos de este fascículo son de responsabilidad exclusiva del autor.



Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable

Comisión Nacional de Energía Atómica

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds

Av. del Libertador 8250 (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2022/2º ISBN: 978-987-1323-12-8

