

Aplicaciones de la tecnología nuclear

Además de la producción de electricidad en centrales nucleares, existen otras muchas aplicaciones de la tecnología nuclear sobre las que tratamos en esta monografía. Las más conocidas son las distintas técnicas utilizadas en medicina. También existen aplicaciones nucleares en diferentes campos como la hidrología, la agricultura y la alimentación, la minería, la industria, el arte, el medio ambiente, la exploración espacial o la cosmología.

La tecnología nuclear se aplica para la producción eléctrica y en campos como la medicina, la exploración espacial, la industria o el arte

Las 10 Principales Aplicaciones De la Tecnología Nuclear



1 Electricidad

En España, más del 20% de la electricidad consumida anualmente se produce en las centrales nucleares

Fuente: Foro Nuclear



2 Medicina

Las técnicas de diagnóstico y tratamiento de la medicina nuclear son fiables y precisas: radiofármacos, gammagrafía, radioterapia, esterilización...



3 Hidrología

Los isótopos se utilizan para seguir los movimientos del ciclo del agua e investigar las fuentes subterráneas y su posible contaminación



4 Agricultura y alimentación

Control de plagas de insectos, mejora de las variedades de cultivo, conservación de alimentos...



5 Minería

A través de sondas nucleares se puede determinar la composición de las capas de la corteza terrestre



6 Industria

Los isótopos y radiaciones se usan para el desarrollo y mejora de los procesos industriales, el control de calidad y la automatización



7 Arte

Las técnicas nucleares permiten comprobar la autenticidad y antigüedad de las obras de arte, así como llevar a cabo su restauración



8 Medio ambiente

Técnicas como el Análisis por Activación Neutrónica permiten la detección y el análisis de agentes contaminantes



9 Exploración espacial

Las pilas nucleares se utilizan para alimentar la instrumentación de satélites y sondas espaciales



10 Cosmología

El estudio de la radiactividad de los meteoritos permite confirmar la antigüedad del universo

Medicina

Las aplicaciones en medicina nuclear son muy conocidas y ampliamente aceptadas. En el mundo desarrollado, las técnicas de diagnóstico y tratamiento se han vuelto tan habituales, fiables y precisas que aproximadamente uno de cada tres pacientes es sometido a alguna forma de procedimiento radiológico de diagnóstico o terapéutico.

Diagnóstico mediante uso de radiofármacos

Para investigar en el cuerpo humano un proceso biológico o el funcionamiento de un órgano, se selecciona cuidadosamente un compuesto químico

radiactivo que se ha de administrar al paciente. Estos compuestos, en su mayoría orgánicos, se llaman radiofármacos. Actualmente, se usan para



diagnóstico más de 300 radiofármacos diferentes mediante dos vías:

- **In vivo:** Para realizar estudios morfológicos y funcionales de diversos órganos. Se utilizan fundamentalmente en enfermedades cardiovasculares [técnicas SPECT (tomografía computarizada de emisión monofotónica) y PET (tomografía por emisión de positrones)] y cerebrovasculares.

- **In vitro:** Mediante pruebas analíticas con moléculas marcadas (radioinmunoanálisis, RIA) con una sensibilidad 10 a 100 millones de veces mayor que otros métodos similares. En países en desarrollo está ayudando a descubrir diversas enfermedades contagiosas y deficiencias nutricionales.

Algunos de estos radiofármacos se deben producir en el mismo hospital, pues su vida media es muy corta, pero la mayoría se producen en instalaciones específicas.

Diagnóstico mediante gammagrafía

Según el tipo de examen a realizar, el radiofármaco se puede inyectar, ingerir por vía oral o inhalar en forma de gas. Una vez administrado al paciente, por su especial afinidad se fija en el órgano que se desea estudiar, emitiendo radiación *gamma* que se detecta mediante una *gammacámara*, cuyo detector se sitúa sobre el órgano a explorar, desde el cual recibe y procesa la radiación procedente del radiofármaco.

El diagnóstico por imágenes nucleares permite obtener información única sobre el funcionamiento de diversos órganos

Radiofármacos

- La administración de radiofármacos se hace vía oral, intravenosa, inhalatoria, intracavitaria o intraabdominal para el tratamiento del cáncer.
- Las *gammagrafías* ofrecen información funcional del cuerpo humano. Por ejemplo, la PET (tomografía por emisiones de positrones) y la SPECT (tomografía por emisión de fotones).



Estas señales son transformadas por medio de un ordenador adjunto al equipo, lo que **permite la representación espacial del órgano**. El diagnóstico por imágenes nucleares consigue obtener información única sobre el funcionamiento de diversos órganos como el corazón, la tiroides, los riñones, el hígado y el cerebro, y también permite diagnosticar un amplio rango de tumores.

Diagnóstico mediante radisótopos

El isótopo radiactivo o nucleído más comúnmente empleado es el tecnecio-99m, emisor *gamma*. En el caso de una exploración ósea es asimilado por los huesos en su proceso de crecimiento. Por ello, se concentra en las zonas de crecimiento anormal, especialmente en las articulaciones. Este isótopo tiene un periodo de semidesintegración de cinco horas, suficientemente prolongado para reconocerlo en una gammacámara y suficientemente corto para que los pacientes no reciban una radiación no deseada.

En medicina se utilizan muchos otros radisótopos de distintos tipos de emisiones, tal como se detalla en la tabla siguiente:

Nucleido	Desintegración	Periodo	Empleo
Carbono-11	β^+	20 minutos	Escaneo PET
Circonio-89	β^+	78 horas	Escaneo PET
Criptón-81m	γ	13 segundos	Imagen de funcionamiento del pulmón
Estroncio-89	β^-	51 días	Terapia de cáncer óseo
Flúor-18	β^+	110 minutos	Escaneo PET
Indio-111	γ , captura electrón	2,8 días	Marcado de sangre
Talio-201	γ , captura electrón	3 días	Imagen de tumor y corazón
Tecnecio-99m	γ	6 horas	Imagen de diversos órganos
Yodo-123	γ , captura electrón	13 horas	Estudios de tiroides
Yodo-131	β^- , γ	8 días	Terapia de cáncer de tiroides



Tratamiento mediante radioterapia

Dentro del campo de los tratamientos médicos, la radioterapia es la especialidad médica que utiliza radiaciones ionizantes con fines curativos para la destrucción de células, tejidos malignos y tumores. Las radiaciones ionizantes empleadas en radioterapia comprenden tanto los rayos X como las radiaciones emanadas de elementos radiactivos o de equipos productores de radiaciones, como los aceleradores.

En el tratamiento de tumores malignos, la radioterapia puede utilizarse sola o asociada a otros medios terapéuticos como la cirugía o la quimioterapia.

Las modalidades de radioterapia reciben diferentes nombres en función de las características de la radiación y del equipo que las genera:

- **Teleterapia:** Utiliza la radiación procedente de un equipo generador situado a cierta distancia de la zona a irradiar. Los irradiadores de cobalto contienen una fuente de cobalto-60 que se sitúa en una carcasa blindada que impide la salida de radiación salvo por un pequeño orificio diafragmado para proporcionar radiación dirigida. Las técnicas se denominan radiocirugías y se aplican con aceleradores especiales o con equipos emisores de radiación con múltiples pastillas de cobalto-60.

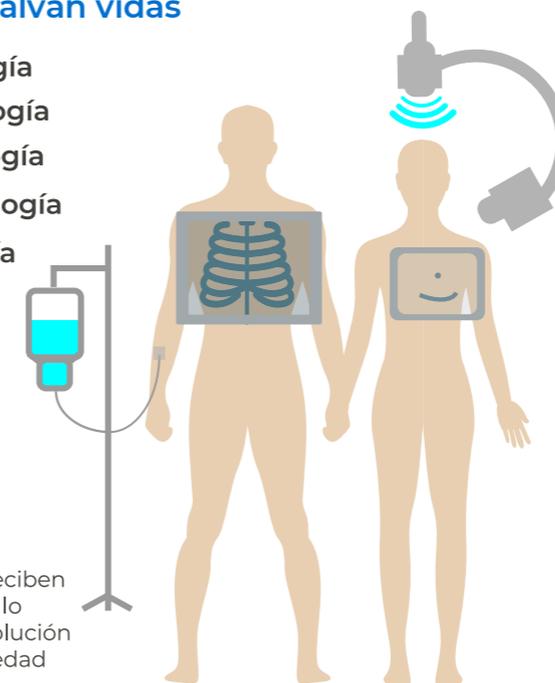
- **Braquiterapia:** Utiliza fuentes cerradas o selladas de material radiactivo que se colocan en contacto con el tumor o se introducen en su seno.



Medicina nuclear y radiaciones ionizantes

Las aplicaciones nucleares médicas salvan vidas

- Oncología
- Cardiología
- Neurología
- Neumología
- Pediatría



70 %

El 70 % de los pacientes oncológicos reciben radioterapia a lo largo de la evolución de su enfermedad

80 %

Hasta un 80 % de respuestas favorables del tratamiento de tumores de difícil extirpación, mediante inyección de microesferas marcadas de Itrio 90

80 %

Un 80 % del diagnóstico médico se basa en pruebas de imagen

93 %

Con un diagnóstico precoz, la mamografía alcanza tasas de control de hasta un 93 % y aumenta la calidad diagnóstica

Las cifras en España



Radiodiagnóstico

35.500 instalaciones, 34 millones de exploraciones anuales

Medicina nuclear

187 instalaciones, 900.000 exploraciones

Radioterapia

155 instalaciones, 100.000 tratamientos de radioterapia externa y 2.500 de braquiterapia

Fuente: Foro Nuclear

Las cifras en el mundo



30 millones de personas en todo el mundo se benefician de la medicina nuclear para diagnóstico o tratamiento

60 patologías

se pueden diagnosticar y tratar mediante técnicas de medicina nuclear

Otras aplicaciones médicas

• **Ondas de radio:** Las ondas de radio sólo se aplican cuando los medicamentos no surten efecto. En ocasiones, los nervios actúan aumentando la presión arterial por la retención del agua y la sal y estrangulan las paredes de las venas. Para lograr la inversión de estos efectos, se calienta el interior de la arteria unos 10 °C con ondas de radio generadas por medio de una sonda, reduciendo la actividad de los nervios entre el 20% y el 80%, sin afectar a la arteria. Esta técnica reduce los riesgos de lesiones cerebrales de muchos pacientes hipertensos.

• **Conocimiento de procesos biológicos mediante trazadores:** La información proporcionada por las moléculas marcadas en las distintas etapas del ciclo celular y el auxilio prestado por las técnicas de separación analítica, cada vez más refinadas, han hecho posible el conocimiento de los mecanismos básicos de los fenómenos biológicos. Con ellos, se pueden determinar pequeñas concentraciones de enzimas, hormonas, drogas, venenos, etc. mediante la técnica de radioinmunoanálisis (RIA), que hace uso de la especificidad de las reacciones antígeno-anticuerpo.

• **Estudio de los caracteres de las células tumorales, su localización y extensión tumoral:** Permite planificar el tipo de irradiación, el cálculo de la dosis total, la forma de administración y su posible fraccionamiento con intervalos de descanso para facilitar la reducción progresiva del tumor, favoreciendo así la eliminación de células muertas y permitiendo la mejor reparación de los tejidos circundantes.

Aplicaciones médicas de la tecnología nuclear permiten el estudio de los caracteres de las células tumorales, su extensión y localización



Hidrología

La hidrología isotópica es una técnica nuclear que utiliza tanto isótopos estables como radiactivos para seguir los movimientos del agua en el ciclo hidrológico. Los isótopos pueden utilizarse para investigar las fuentes de agua dulce subterráneas y determinar su origen, su forma de recarga, si existe riesgo de intrusión o contaminación por agua salada y si es posible utilizarlas de manera sostenible. Del total de los recursos hídricos de la Tierra, sólo el 2,5% es agua dulce, el resto es agua salada.

Los isótopos pueden utilizarse para investigar las fuentes de agua dulce subterráneas y determinar su origen, si existe riesgo de contaminación por agua salada y si es posible utilizarlas de manera sostenible

En las fases de evaporación y condensación, la concentración de isótopos de oxígeno e hidrógeno en una molécula de agua sufre pequeños cambios. Como resultado de ello, en diferentes etapas del ciclo hidrológico, el agua queda marcada, de manera natural, con huellas isotópicas que varían en función del historial de una masa de agua en particular y de su recorrido por el ciclo hidrológico y que se estudian valiéndose de la espectrometría de masas.

Isótopos naturales como el tritio (H3) y el radiocarbono (C-14) se producen en ínfimas cantidades en la atmósfera. Estos isótopos son radiactivos, lo que significa que se desintegran con el tiempo. Estos se infiltran en las aguas subterráneas con las precipitaciones y pueden medirse con equipos sensibles especializados. **El hecho de conocer el periodo de semidesintegración de estos isótopos permite medir sus concentraciones para interpretar el tiempo de permanencia en las aguas subterráneas, lo que indica la tasa de renovación y la velocidad de flujo de estas.** Así, registrando los niveles de tritio radiactivo en el suelo a diversas profundidades, se puede me-

dir la tasa de recarga, aspecto crítico en la gestión de recursos hídricos.

Por su parte, **con las técnicas nucleares los climatólogos pueden reunir datos más fiables sobre la evolución climática y determinar la repercusión de sucesos futuros cuando se producen los cambios climáticos.** Los isótopos ofrecen la posibilidad de abarcar períodos prolongados de fenómenos meteorológicos de miles de años de duración. Sus firmas quedan preservadas dondequiera que se registra el ciclo del agua, en sedimentos de océanos y lagos, en las incisiones

anulares de los árboles, en glaciares y casquetes polares, en depósitos en cuevas y en aguas subterráneas.

Sondas neutrónicas

Las sondas neutrónicas se utilizan para medir la humedad y son ideales para el máximo aprovechamiento de recursos hídricos limitados. En algunos casos, se ha podido ahorrar hasta un 40% del agua.



Agricultura y alimentación

Mejora de la calidad de los alimentos

Las **técnicas radisotópicas y las radiaciones** que se aplican en el campo de la agricultura y la alimentación pueden inducir mutaciones en plantas prometedoras para obtener las variedades deseadas de cultivos agrícolas, sin necesidad de esperar al largo proceso de transformación natural que ha llevado a la especie vegetal al estado actual de evolución.

Actualmente, son muchos los centros de investigación dedicados a la selección genética de semillas. Por ejemplo, en el campo de los cereales, se han introducido más de un millar de cultivos que cubren ahora grandes extensiones agrarias en los países con mayores problemas demográficos (China, India, Japón...).

Resonancia Nuclear Magnética para mejorar la calidad del vino

La Resonancia Nuclear Magnética (RNM) es un fenómeno físico basado en las propiedades mecánico-cuán-

ticas de los núcleos atómicos. También se refiere a la familia de métodos científicos que exploran este fenómeno para estudiar moléculas (espectroscopia de RNM), macromoléculas (RNM biomolecular), así como tejidos y organismos completos (imagen por resonancia magnética).

La Universidad de la Rioja ha emprendido el proceso de aplicar la **Resonancia Nuclear Magnética al control de los perfiles fenólicos de los vinos sin dañar la uva**. Los fenoles son compuestos orgánicos presentes en la uva que, además de ayudar a determinar su añada o lugar de cultivo, determinan características como el color, la textura o la astringencia de los caldos.

Irradiación directa de alimentos

El objetivo de la irradiación directa de alimentos es doble: la **reducción de las pérdidas posteriores a la recolección y la mejora de la calidad de los alimentos aumentando su periodo de conservación**. Consiste en exponer los alimentos a una dosis de radiación *gamma* predeterminada y

controlada, aprovechando la energía de las radiaciones para la eliminación de insectos, sobre todo en frutas, y de larvas en cereales, legumbres y semillas, además de eliminar gérmenes patógenos causantes de episodios infecciosos y retraso en la maduración de frutas.

La irradiación de alimentos puede reemplazar o reducir sustancialmente el uso de aditivos y fumigantes en los alimentos

Esta técnica consume menos energía que los métodos convencionales y puede reemplazar o reducir radicalmente el uso de aditivos y fumigantes en los alimentos. Al ser un proceso frío, los alimentos tratados conservan la frescura (pescado, frutas, verduras) y su estado físico (comestibles congelados o secos). **Esta técnica de irradiación es aceptada y recomendada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la**

Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Una investigación de la FAO y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) demostró que **la irradiación de cualquier alimento con una dosis inferior a 10 kGy no presenta ningún peligro toxicológico** y en ningún alimento irradiado de los estudiados se encontraron residuos tóxicos o carcinogénicos.

A los alimentos irradiados también se les conoce bajo la denominación de alimentos ionizados o tratados con radiación ionizante y no emiten radiactividad. Tienen que llevar un logotipo para distinguirlos y son completamente seguros para el consumo humano.



Símbolo que se debe mostrar cuando un alimento ha sido irradiado

Fijación biológica del nitrógeno

Esta técnica permite a las plantas aprovechar el nitrógeno procedente del aire (un 80% de los gases de la naturaleza), que antes no podía ser utilizado. Esto ha llevado a un **aumento de la producción de alimentos y ha reducido la cantidad de fertilizantes utilizados**. También incluye la posibilidad de determinar las condiciones necesarias para optimizar la eficacia de los fertilizantes y el agua, para mejorar la calidad y la cantidad de alimentos.



Técnicas nucleares de esterilización de insectos permiten el control de plagas

Control de plagas

El control de plagas con técnicas nucleares consiste en la esterilización de insectos (considerados una plaga) criados en ciertas instalaciones, mediante la irradiación antes de la incubación y la posterior diseminación de estos insectos estériles en zonas infectadas. Al no producir descendencia, la población de la plaga va reduciéndose hasta llegar a la erradicación.

La técnica más utilizada, desde hace más de sesenta años, es la del insecto estéril o TIE, que consiste en una especie de "anticoncepción" para insectos: se crían insectos macho en grandes cantidades, se esterilizan mediante radiación y se sueltan para que se apareen con hembras silvestres. Al no poder reproducirse, la población se reduce. Esta técnica se utili-

za para reducir pestes agrícolas como la mosca del Mediterráneo, la mosca *Tsetse* y el gusano del ganado. Más recientemente también se aplica a los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, que causan epidemias por todo el mundo.

Minería

A través de la utilización de sondas nucleares se puede determinar la física y la química de los suelos, lo que permite conocer si un estrato reúne las condiciones favorables para albergar minerales o combustibles. La dia-
grafía de pozos de sondeo y la datación isotópica son algunas de sus aplicaciones.

La tecnología nuclear se utiliza también para la separación de petróleo, uranio y carbón. En la minería del carbón permite determinar el espesor de la veta de carbón y así evitar la excavación improductiva de la roca. En la minería del uranio la medición de la radiactividad de la roca consigue separar la ganga de la mena y determinar la riqueza de ésta. A tal fin se utilizan a menudo espectrómetros de masas.

La utilización de algunas técnicas para la caracterización de betunes y asfaltos ha permitido determinar las peculiaridades de diversos yacimientos arqueológicos.

Determinar la física y la química de los suelos son algunas de las aplicaciones nucleares en el campo de la minería



Industria

La utilización de los isótopos y radiaciones en la industria moderna es de gran importancia para el desarrollo y mejora de los procesos mediante ensayos no destructivos, para las mediciones y la automatización y para el control de calidad. En la actualidad, casi todas las ramas de la industria utilizan radisótopos y radiaciones de diversas formas.

Trazadores

Los trazadores son sustancias radiactivas que se introducen en un determinado proceso industrial, para luego detectar la trayectoria de los mismos gracias a su emisión radiactiva. Esto permite investigar diversas variables propias del proceso como caudales de fluidos, filtraciones, fugas, velocidades en tuberías, niveles en depósitos, etc. Esta técnica se realiza sobre equipos industriales costosos, de manera que permiten obtener información para prolongar su vida operativa. Ejemplos son el control de grosor en un proceso de fabricación de láminas de aluminio y el control de un proceso de llenado de recipientes para que todos lo estén por igual.

Radiografías de la estructura interna de piezas

Aplicación para el control de calidad en la que se utilizan rayos *gamma* o neutrones. Las imágenes reciben el nombre de *gammagrafías* o *neutrografías*, respectivamente. Se trata de un método no destructivo de obtención de información que permite comprobar la calidad en soldaduras estructurales, en piezas metálicas o cerámicas, para análisis de humedad en materiales de construcción, etc., sin dañar o alterar la composición del material en cuestión.

En la actualidad, casi todas las ramas de la industria utilizan radisótopos y radiaciones de diversas formas para realizar ensayos no destructivos



Mejora de la calidad de determinados productos

Esta aplicación consiste en irradiar con fuentes intensas. Por ejemplo, la **polimerización por radiación se utiliza para la fabricación de plásticos y para la esterilización de productos de un solo uso.**

El tratamiento con haces de electrones permite reducir las consecuencias medioambientales y sanitarias del empleo a gran escala de combustibles fósiles y contribuye de manera más significativa que otras técnicas a resolver problemas como el efecto invernadero y la lluvia ácida.

Inyección de cinc en el refrigerante de los reactores nucleares

La adición de óxido de cinc (ZnO) empobrecido en el isótopo Zn-64 al agua de los reactores de agua en ebullición disminuye la acumulación de Co-60 en las superficies internas del reactor, reduce la cantidad de depósitos radiactivos, mejora los niveles de radiación y aumenta la vida de la vasija y los internos del reactor. El mismo

principio se aplica a los reactores de agua a presión, si bien en este caso el cinc se aplica como acetato de cinc dihidrato.

Esterilización de material médico

La radiación tiene **propiedades bactericidas**: mata a los gérmenes que causan enfermedades y neutraliza a otros organismos nocivos. Esto la convierte en una aplicación muy útil para esterilizar materiales. La **esterilización con radiaciones ionizantes, o radioesterilización**, desactiva los microorganismos nocivos de una manera muy eficiente y tiene numerosas

aplicaciones. Es **mucho más eficaz y versátil** que la esterilización mediante calor y productos químicos, además de altamente eficaz y con menor coste.

La esterilización de equipos médicos mediante técnicas nucleares ofrece eficacia y un coste bajo



Arte

Conservación del patrimonio

Los contaminantes atmosféricos han agravado el problema de la conservación del patrimonio de bienes culturales (estatuas, libros, documentos, objetos de arte, etc.). Una solución puesta en práctica en algunos países es la restauración de piezas deterioradas mediante el empleo de técnicas nucleares.

El problema que presenta una obra artística en proceso de deterioro es doble. Por un lado, la progresiva pérdida de fijación que sufre al estar expuesta al medio ambiente (humedad, temperatura, compuestos químicos contaminantes, etc.) y, por otro, la contaminación con insectos xilófagos (se alimentan de madera), con hongos, etc.

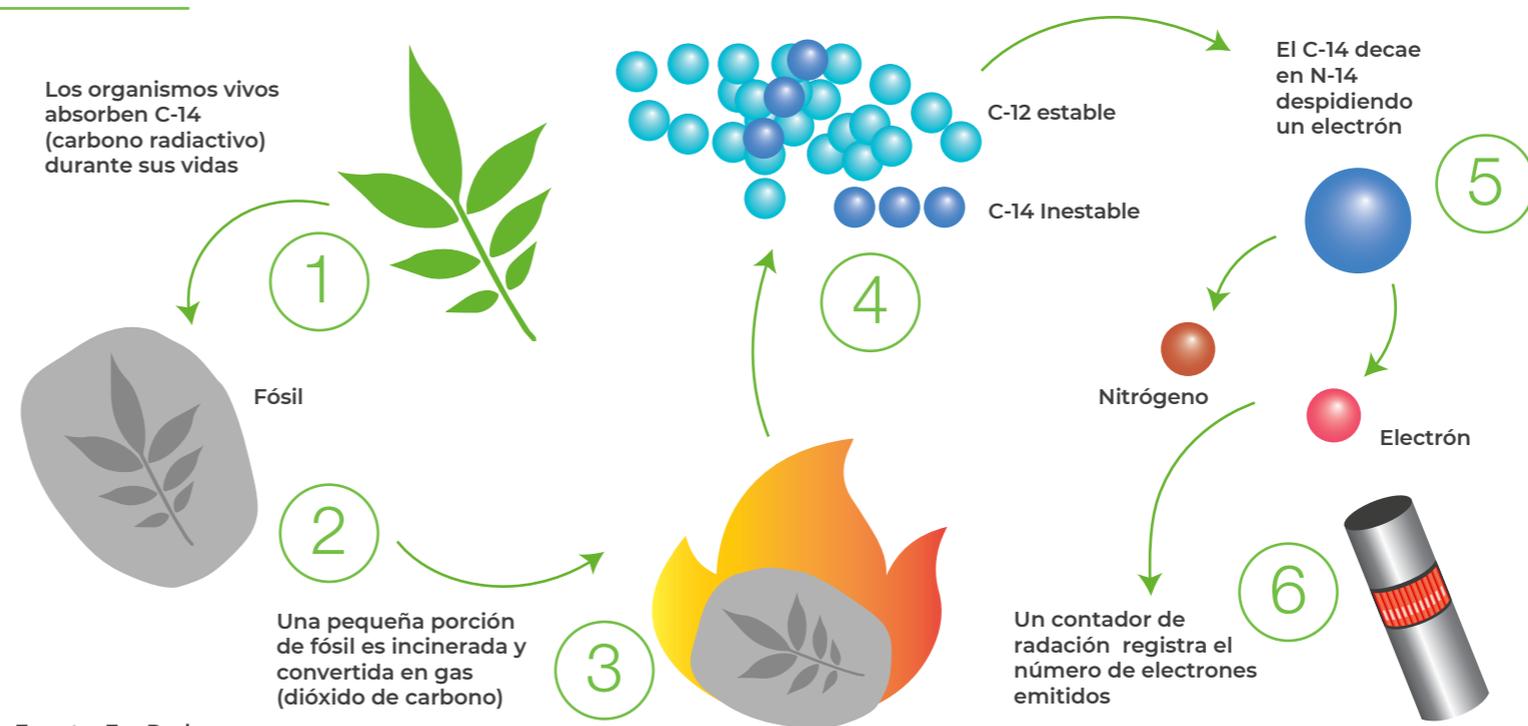
Mediante la impregnación con un monómero (molécula pequeña) y su posterior irradiación *gamma*, es posible producir la consolidación de la pieza por polimerización (agrupación química de compuestos), a la vez que se eliminan los insectos contaminantes de la obra por esterilización.

Determinación de la antigüedad

Para la datación de obras de arte, de igual manera que para la determinación de la edad en formaciones geológicas y arqueológicas, se utiliza la técnica del carbono-14, que

consiste en determinar la cantidad de este isótopo contenida en un cuerpo orgánico. La radiactividad existente, debida a la presencia de carbono-14, disminuye a la mitad cada 5.730 años, por lo que, al medir con precisión su actividad (y su cantidad), se puede inferir la edad de la muestra.

El carbono radioactivo se desintegra con una velocidad conocida. Los paleontólogos pueden determinar la edad de un fósil midiendo la cantidad de carbono-14 que contiene.



Fuente: EcuRed

Radiografías

La radiografía con rayos X es una técnica no destructiva que permite atravesar cuerpos opacos proporcionando una imagen de la estructura interna de una obra, en función de la densidad de sus materiales constituyentes. Los rayos X se aplicaron por primera vez al estudio de un cuadro en 1895 en la Universidad de Múnich.

Para la realización de las radiografías, así como para la manipulación de cualquier material radiactivo, hay que contar con salas especialmente equipadas y con el personal debidamente autorizado.

El documento radiográfico es imprescindible para el conocimiento de una obra, de su soporte, de la técnica del artista, etc., y a través de él se pueden determinar la técnica del pintor, los cambios de composición introducidos por el artista en el transcurso de la ejecución pictórica,

las superposiciones o las modificaciones de la composición introducidos por manos ajenas al artista, el estado material del cuadro, su estado real de conservación, el alcance de las faltas de pintura producidas por roturas, golpes, etc., restauraciones anteriores, la autenticidad de la obra de arte o de su firma, entre otros muchos aspectos.

Aplicaciones nucleares en el campo del arte posibilitan restaurar piezas, determinar su antigüedad o conocer una obra en detalle



Medioambiente

Las aplicaciones de la tecnología nuclear en el medio ambiente se utilizan para la detección y el análisis de diversos contaminantes. Una de las técnicas más conocidas recibe el nombre de Análisis por Activación Neutrónica y consiste en la irradiación de una muestra de tal forma que, a posteriori, se obtienen los espectros *gamma* que emite. El procesamiento digital de esta información permite identificar los elementos presentes en la muestra y su concentración.

Técnicas nucleares se han aplicado con éxito a diversos problemas de contaminación, como los causados por el dióxido de azufre, las descargas gaseosas a nivel del suelo, en derrames de petróleo, en residuos agrícolas, en la contaminación de aguas y en la generada por las ciudades.

La tecnología nuclear permite el uso de análisis isotópicos que consiguen calcular las emisiones de dióxido de carbono en una zona industrial. Los métodos nucleares, como la irradiación con haces electrónicos, son muy útiles para eliminar gases contaminantes emitidos en las centrales térmicas. También se pueden utilizar

estas técnicas para crear barreras reactivas permeables que permitan retener isótopos como el cesio-137.

Un método innovador y sencillo para calcular las emisiones de CO₂, consiste en la observación de las plantas que crecen en una zona industrial. Estas plantas captan carbono-14 radiactivo procedente de las radiaciones cósmicas y también el carbono emitido por las industrias. De esta forma, determinando la proporción de carbono radiactivo se puede determinar la emisión total de CO₂ en la zona.

Otra aplicación de estas técnicas nucleares al medio ambiente es la determinación de la contaminación del suelo y su efecto en la cadena alimentaria. La agricultura emplea con mayor frecuencia productos químicos contaminantes que penetran en el suelo a través de los fertilizantes nitrogenados y los plaguicidas. Estos productos deben probarse cuidadosamente antes de su uso y garantizar su descomposición en productos que no generen riesgos en el medio ambiente.

La aplicación de las técnicas isotópicas permite determinar la descompo-

sición de estos productos y su destino final. **Los métodos nucleares son los más idóneos para evaluar con exactitud la contaminación y la fuente exacta que la ha provocado.**

Técnicas nucleares permiten detectar y analizar diversos problemas de contaminación en aguas y suelos y calcular las emisiones de CO₂



Exploración espacial

Viajes interplanetarios

Una de las principales aplicaciones de las baterías nucleares es la navegación espacial. Se trata de alimentar la instrumentación de satélites terrestres y sondas planetarias con generadores algo más potentes, de manera que éstas puedan llegar a planetas próximos y transmitir información a la Tierra.

Los generadores isotópicos de electricidad son instrumentos que contienen un radionucleido encapsulado herméticamente cuyas radiaciones son absorbidas en las paredes de la cápsula. Ésta es el equivalente a una fuente de calor, ya que la cápsula transforma la energía de las radiaciones.

A esta fuente se acopla un circuito eléctrico para generar una corriente eléctrica que alimenta los instrumentos. La fuente será de larga duración si el periodo de semidesintegración del radisótomo es largo.

Los radionucleidos que se emplean son siempre emisores alfa, porque esta radiación se detiene en las primeras micras de las paredes de la

cápsula (habitualmente, de acero inoxidable). Se usan, preferentemente, el plutonio-238 y el curio-244, que pueden proporcionar pequeñas potencias eléctricas durante muchos años.

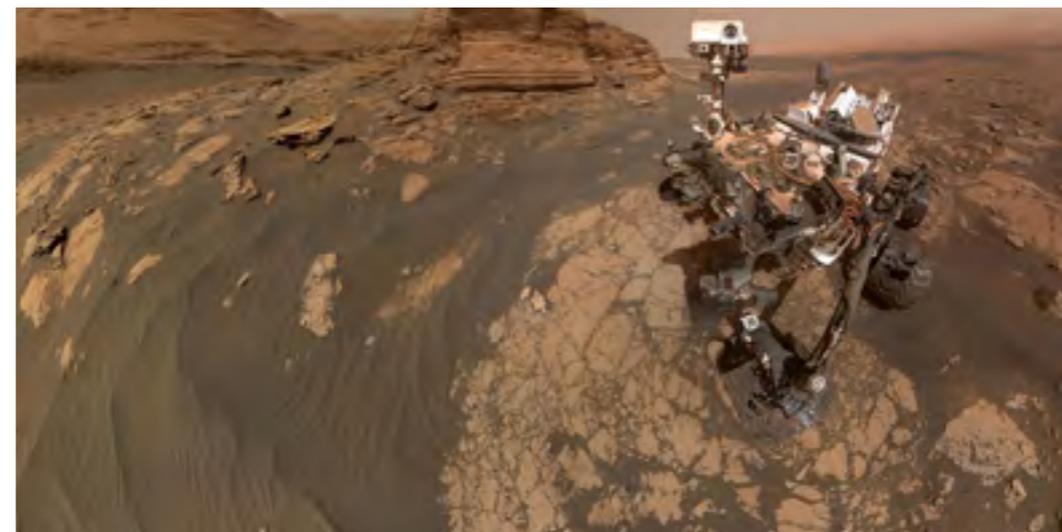
Una de las principales aplicaciones de las baterías nucleares es la navegación espacial

Los viajes no tripulados a planetas exteriores del sistema solar de la Tierra se han realizado mediante misiones provistas de equipos robóticos alimentados con la electricidad producida por el radioisótomo plutonio-238. Este isótomo tiene un período de semidesintegración de 87,74 años y una duración de actividad que, de forma práctica, puede atender las necesidades de las misiones espaciales durante varios siglos. El plutonio-238, que no es fisionable como otros isótopos del plutonio, tiene su origen en combustibles irradiados de uranio.

La Agencia Espacial Europea estudia la sustitución del plutonio-238 por otro isótomo que genere electricidad para atender las necesidades de los equipos eléctricos y electrónicos de medida y transmisión de datos a la Tierra. Uno de los isótopos considerados es el americio-241, empleado comúnmente en los detectores contra incendios, también emisor *alfa* cuyo valor de desintegración es semejante al del plutonio-238, pero que tiene un período de semidesintegración de 432,2 años, por lo que podrá utilizarse para misiones más largas, aunque se requerirá una mayor cantidad para conseguir la misma energía.

En etapas posteriores, por ejemplo para viajes a Marte, el proceso se acortaría y abarataría si las naves usaran propulsores nucleares, más eficaces que los actuales cohetes. Funcionarían transfiriendo el calor del reactor nuclear a un propulsor líquido, que se convertiría en gas y se expandiría para proporcionar empuje a la nave. Con propulsores nucleares se estima que el trayecto a Marte duraría de tres a cuatro meses, aproximadamente la mitad del tiempo que pueden tardar las naves actuales.

Fuente: NASA



Cosmología

La cosmología moderna abarca desde el comienzo de la formación de las rocas hasta la época actual. La medida de las edades de las estrellas se basa en sus masas, composiciones químicas y temperaturas y la comparación de su variación en el tiempo, según el tipo particular de estrella. Un problema que hay que tener en cuenta es que todos estos modelos se refieren al Sol.

Se estudian los meteoritos del sistema solar que llegan a la Tierra: su radiactividad y las relaciones entre sus componentes al objeto de confirmar la antigüedad de nuestro universo cercano y de ello se deduce un método comparativo de determinación de las edades de los productos que forman los meteoritos.

En el caso de las rocas, el método de datación más utilizado es el que se basa en la comparación uranio-plomo. Los zircones son silicatos que se presentan en rocas ígneas que a veces incorporan pequeñas cantidades de uranio en sus estructuras cristalinas. Este uranio contiene uranio-238 (periodo de semidesintegración,

4.500 millones de años) y uranio-235 (periodo de semidesintegración, 704 millones de años). Ambos decaen hasta una forma estable de plomo.

Para rocas más jóvenes y objetos de origen humano, se emplean otros radioisótopos. Uno de ellos se basa en la desintegración del potasio a argón.

La parte más importante de la historia humana, unos 60.000 años, está escrita en los isótopos de carbono, el carbono-12 estable y el carbono-14 radiactivo (periodo de semidesintegración de 5.730 años).

