

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

Casi inmediatamente a su descubrimiento se extendió muchísimo el uso de las radiaciones en diversas áreas. Dentro del campo industrial, la medicina, la investigación y la generación de energía las aplicaciones son muy variadas y numerosas debido a las ventajas que presentan.

En muchos casos no hay técnicas alternativas que permitan obtener los beneficios potenciales de las radiaciones.

### Medicina

En medicina el uso de las radiaciones es muy diverso, extendido y particularmente beneficioso. Sus aplicaciones van desde la esterilización de material quirúrgico hasta el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades.

En 1896, un año después del descubrimiento de los rayos X, se realizó el primer tratamiento de cáncer con radiación.

Hoy en día existen diferentes técnicas de diagnóstico con radiaciones en función del tipo de enfermedad buscada. Su principal ventaja es la observación no invasiva del interior del organismo. Las técnicas más utilizadas son la radiografía convencional —comúnmente llamada rayos X—, la fluoroscopia, la tomografía computada (TC), la mamografía, el centellograma y la tomografía por emisión de positrones (PET).

Para el tratamiento del cáncer las técnicas más utilizadas son la radioterapia, la braquiterapia y la medicina nuclear. También existe la radioterapia con iones pesados, pero su costo es muy alto y está en una etapa de investigación y desarrollo en algunos países del primer mundo.

Por otra parte se emplea material radioactivo en ciertos tipos de análisis clínicos; por ejemplo, para determinar el contenido de hormonas, vitaminas, drogas, enzimas y antígenos de cáncer en la sangre.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

El uso en medicina implica al menos dos esferas de actuación profesional de principal importancia. Por un lado la parte médica, que diagnostica e indica el tipo de estudio o tratamiento, y por otro los especialistas, quienes permiten optimizar el uso y los procedimientos relacionados con los equipamientos actuales, que en las últimas décadas han avanzado enormemente en complejidad y posibilidades. Este profesional, llamado *físico médico*, ha hecho estudios avanzados en física y sus aplicaciones a la medicina, y es una nueva figura en los hospitales, que garantiza la calidad técnica, la efectividad y la seguridad al tiempo que reduce la probabilidad de accidentes.

La presencia de estos profesionales permite incorporar a las instituciones de salud las técnicas más modernas que día a día se desarrollan en esta área de rápida evolución.

### Diagnóstico: mirando hacia el interior del organismo



Primera radiografía.  
Mano de la esposa  
de Roentgen (1895)

En una gran variedad de situaciones relacionadas con la salud es conveniente utilizar los rayos X. En otras, menos frecuentes, se recurre a los rayos gamma. La elección de la energía de estos rayos depende del órgano o tejido que se desee estudiar. Por ejemplo, una fractura de hueso y una anomalía en el tejido mamario son claramente situaciones diferentes. En la primera se necesita radiación que puede penetrar profundamente y atravesar los huesos, mientras que en la segunda se busca detectar anomalías en un tejido blando.

Además, la elección de la técnica depende del fin buscado: obtener una imagen anatómica u observar el funcionamiento de un órgano.

### Radiografía convencional

Popularmente conocida como rayos X, es una técnica que permite ver la anatomía de órganos y tejidos.



Radiografía de tórax

El equipo consta principalmente de un tubo que emite rayos X y un detector, que puede ser una película radiográfica (placa) o dispositivos de detección digital. Es capaz de emitir rayos X durante períodos sumamente pequeños, y alcanza con una o dos placas para finalizar el procedimiento.

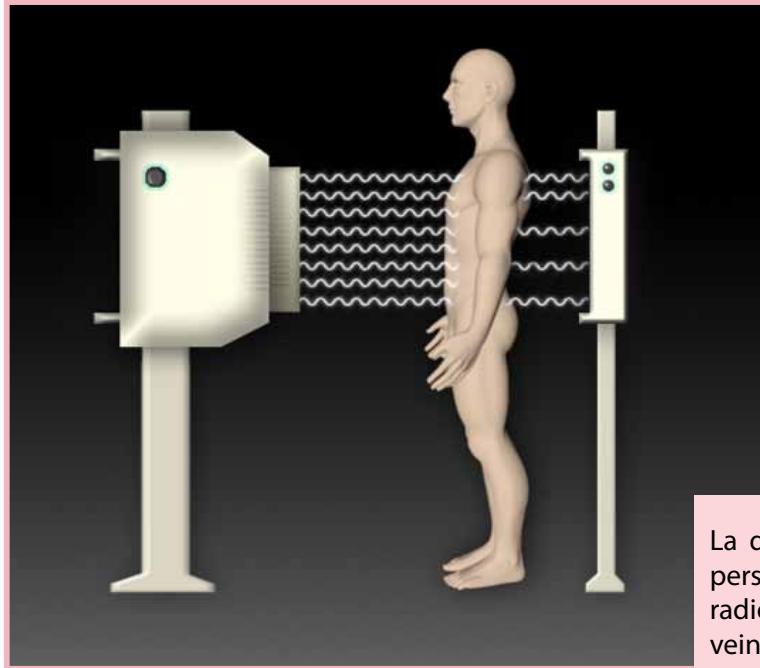
Los rayos X para radiografía no se obtienen de materiales radioactivos, sino acelerando electrones que luego chocarán contra un blanco metálico. Los fotones son emitidos por los electrones al ser frenados o por procesos que tienen lugar en los átomos del metal.



Equipo de rayos X

La imagen se forma porque cada órgano del cuerpo atenúa en mayor o menor proporción el haz de rayos X, según su densidad. Aquellos rayos que logren atravesar el organismo impactarán en el detector formando una imagen, que luego será revelada o procesada por una computadora.

La radiografía se emplea, por ejemplo, para observar fracturas en huesos, anomalías pulmonares, estructura dental, etcétera.



La dosis que recibe una persona durante una radiografía de tórax es veinte veces menor que la dosis anual.

## Fluoroscopia

Esta técnica es indicada para estudiar el funcionamiento de algunos órganos y vasos sanguíneos, en procedimientos médicos como cateterismos y en algunas cirugías.

El equipo es muy similar a un equipo de rayos X convencional, pero tiene dos grandes diferencias: el tubo de rayos X emite en forma continua y tiene un tubo intensificador de imagen. Esto permite realizar una filmación con rayos X, que es vista en un monitor.

Generalmente se le inyecta al paciente una sustancia química llamada *medio de contraste*,

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

En una fluoroscopia las dosis recibidas son del orden de la dosis anual.

cuya densidad es bien diferente a la densidad del tejido humano, para distinguir el tejido a estudiar del resto.

El procedimiento puede durar minutos y suministra una dosis de radiación muy superior a una radiografía.

### Mamografía

En Uruguay una de cada cinco mujeres fallece por cáncer de mama. Esto equivale a dos mujeres por día.

La mamografía es un estudio que se realiza principalmente a mujeres para la detección precoz del cáncer de mama. Este es el cáncer más frecuente en las mujeres y Uruguay tiene uno de los índices mundiales más altos de mortalidad por esta causa.

El mamógrafo es un equipo convencional de rayos X, pero muy compacto y diseñado para este tipo de estudios. Consta de un tubo de rayos X, un dispositivo para aplanar e inmovilizar la mama y un sistema de detección digital o con película radiográfica.

Una de cada ocho mujeres en el mundo ha tenido al menos un episodio de cáncer de mama en su vida.

Existen dos modalidades de estudio: de *screening* y de *diagnóstico*. La primera se aplica a mujeres que no presentan al tacto ninguna anomalía y consiste en dos radiografías de cada mama. La segunda está indicada en mujeres que presentan anomalías al tacto o a las que en la mamografía de *screening* se les detectó alguna anomalía. En este caso se pueden tomar más radiografías y deberá realizarse un seguimiento.

La dosis típica de una mamografía es del orden de  $\frac{1}{3}$  de la dosis anual.

Dado que en estos estudios se busca detectar pequeñas formaciones

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?



que indiquen la posible presencia de la enfermedad, el equipo debe ser cuidadosamente calibrado, así como todas las etapas hasta la formación de la imagen deben ser optimizadas para que el estudio sea efectivo.

En Uruguay se recomienda a las mujeres mayores de 40 años realizarse una mamografía anual. De existir antecedentes familiares de cáncer de mama se debe consultar al médico desde la adolescencia.

## Tomografía computada (TC)

Es una técnica bastante más sofisticada que las anteriores ya que permite obtener imágenes del organismo en tres dimensiones. Por su invención, Sir Godfrey Newbold Hounsfield y Allan McLeod Cormack recibieron el Premio Nobel en 1979.

El equipo consta de un tubo de rayos X y un arreglo de detectores, ambos ubicados sobre un anillo rotatorio, y una camilla móvil. Una vez colocado el paciente en la camilla, esta se irá desplazando y el tubo de rayos emitirá en forma continua, mientras el anillo rotatorio girará en torno al paciente. De esta forma se obtiene una gran cantidad de imágenes provenientes de rayos X que permiten reconstruir el interior del cuerpo del paciente.

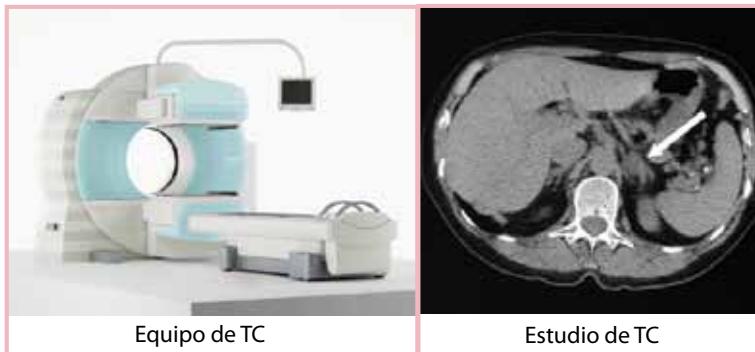
Este equipo es enteramente digital y contiene una potente computadora capaz de procesar gran cantidad de datos para formar la imagen. Incluso el monitor utilizado se diferencia bastante de un monitor doméstico.

La dosis recibida en un estudio típico de tomografía es aproximadamente cinco veces la dosis anual.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

También en este caso puede ser necesario suministrar al paciente un medio de contraste, a fin de visualizar mejor los órganos.

Típicamente el estudio puede durar hasta media hora.



## Centellograma

El centellograma es similar a la fluoroscopia, ya que permite observar el funcionamiento de un órgano en tiempo real, pero la gran diferencia es que no utiliza para ello rayos X. El estudio consiste en introducir en el paciente —sea por vía intravenosa, ingestión o inhalación— un compuesto químico llamado *radiofármaco*.

Un *radiofármaco* es un compuesto químico que se introduce en el organismo con fines terapéuticos o de diagnóstico y que en su composición contiene elementos radioactivos.

Para el centellograma este compuesto es un emisor de radiación gamma. Contiene además moléculas específicas que hacen que sea absorbido por el órgano a estudiar. Los elementos radioactivos que se emplean son de corta vida media, por lo que desaparecen del organismo al cabo de horas o días.

Los rayos gamma, que como ya mencionamos son capaces de penetrar

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

el tejido, escapan del cuerpo y serán detectados por un dispositivo que se ubica sobre el paciente. La señal será recibida por una computadora que procesará los datos y formará la imagen.



Gamma cámara

Estudio de centellograma

### PET (tomografía por emisión de positrones)

La técnica PET también se basa en la obtención de una imagen a partir de inyectar en el paciente un radiofármaco, pero en este caso el elemento radioactivo será un emisor de positrones provenientes de decaimientos  $\beta^+$ . Dichas partículas podrán viajar muy cortas distancias dentro del organismo, ya que al encontrarse con un electrón ambos se aniquilan y se emiten dos fotones que salen a  $180^\circ$  uno del otro, en un proceso llamado *aniquilación de pares*.

A esta técnica se recurre principalmente para detectar y determinar el estado de cánceres, y también en estudios neurológicos para, por ejemplo, detectar la enfermedad de Alzheimer.

En el caso de la detección del cáncer, el radiofármaco contiene una molécula rica en glucosa, compuesto químico que se sabe es consumido más ávidamente por las células cancerígenas. Estas

En general la técnica PET va acoplada a una tomografía computada para obtener una visión completa: funcional, proveniente de la PET y anatómica, proveniente de la TC.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

El radiofármaco más utilizado en PET se llama FDG (18 fluorodesoxiglucosa).

moléculas, por lo tanto, se concentrarán en las zonas del cuerpo que presenten estas anomalías y darán una imagen relacionada con las funciones biológicas que tienen lugar en el interior del cuerpo y no simplemente de la anatomía. ¿Cómo?

Recientemente esta técnica se ha incorporado a nuestro país en el Centro Uruguayo de Imagenología Molecular (CUDIM), para el cual se han invertido cerca de USD 20.000.000. Este centro está ubicado al lado del Hospital de Clínicas.

Un equipo PET consta de un arreglo de detectores ubicados en un anillo, de forma que los fotones provenientes de la aniquilación electrón-positrón impactarán a los detectores que se encuentran diametralmente opuestos. Dependiendo del tiempo que cada uno demoró en impactar a cada detector, es posible determinar de qué lugar del cuerpo provinieron y así reconstruir una imagen a partir de la detección de miles de estos pares de fotones.

Un centro de diagnóstico por PET cuenta generalmente con un ciclotrón cercano o bien en el mismo edificio, ya que los radiofármacos empleados son de corta vida media. El ciclotrón es un acelerador de partículas que permite obtener los núcleos emisores de positrones necesarios para la elaboración del radiofármaco.

## Resonancia magnética nuclear

Vamos a hacer un paréntesis para comentar un estudio diagnóstico que utiliza radiaciones no ionizantes.

Se recurre a esta técnica principalmente para observar con alta definición el tejido blando del cuerpo. Se basa en que los distintos tejidos contienen diferente cantidad de moléculas de agua y por lo tanto de átomos de hidrógeno. Los núcleos de estos átomos son muy sensibles a la presencia de intensos campos magnéticos y además emiten ondas similares a las de radio si son expuestos a campos magnéticos que varíen con el tiempo.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

Y esto es lo que hace un equipo de resonancia magnética: genera grandes campos magnéticos que varían muy rápidamente, y registra las ondas de radio emitidas por los átomos de hidrógeno que componen los tejidos. A partir de esas ondas que son captadas por una antena, una computadora se encarga de procesar los datos para formar la imagen.



### Ecografía

Un estudio ecográfico tampoco utiliza radiaciones ionizantes. Estos equipos contienen un dispositivo que envía ondas sonoras de muy alta frecuencia, inaudibles para nuestros oídos. Parte de estas ondas rebotan al encontrarse con un cambio de densidad, entonces ese rebote o eco es lo que se detecta y se usa para formar las imágenes.

### Tratamiento

---

#### Medicina nuclear

El poder “destructor” de las radiaciones ionizantes a nivel celular es utilizado para combatir ciertas enfermedades. Para ello se le suministra al paciente un radiofármaco que contiene generalmente un emisor alfa o un emisor beta en conjunto con un emisor gamma. El emisor alfa o beta es el encargado de producir localmente la destrucción de las células en cuestión, mientras que el emisor gamma se utiliza para el monitoreo del tratamiento mediante un centellograma.

En medicina nuclear la dosis recibida en un tratamiento es mucho mayor que la recibida en diagnóstico.

### Radioterapia

Es una de las técnicas más importantes utilizadas para el tratamiento del cáncer, junto con la cirugía y la quimioterapia.

La técnica se basa en depositar en la zona del tumor una dosis de radiación tal que logre destruir las células cancerosas y, al mismo tiempo, evitar que esa radiación dañe los tejidos sanos circundantes.

Las técnicas modernas han hecho evolucionar los tratamientos rápidamente. Cada pocos años es posible seleccionar con mayor precisión las zonas a tratar y mejorar la forma de suministrar la dosis. Como consecuencia directa mejoran los resultados, vistos como la probabilidad de cura y también como la posibilidad de continuar con una buena calidad de vida luego del tratamiento.

Como en toda exposición a la radiación, existe la posibilidad estadística de efectos a largo plazo, ya que la misma radiación que cura es la que puede inducir la enfermedad. Esto en general no ocurre, y además siempre se considera una relación riesgo/beneficio en la cual este último es claramente mayor.

Para concentrar el haz de radiación en la zona de interés y disminuir la irradiación del tejido sano se aplican diferentes técnicas simultáneamente. Por ejemplo: usar filtros apropiados, enfocar el haz de radiación desde varios ángulos convenientemente seleccionados, disponer de un tomógrafo acoplado al equipo para detectar eventuales cambios anatómicos sucedidos en el transcurso del tratamiento.

Las nuevas técnicas requieren el uso de tecnologías y de conocimientos muy avanzados por parte de radioterapeutas y físicos médicos, y en general los países subdesarrollados deben hacer un gran esfuerzo en la formación de sus profesionales para poner estas nuevas posibilidades al alcance de la población.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

Los tratamientos de radioterapia se realizan comúnmente con haces de radiación externa, ya sea con rayos X de alta energía, o electrones acelerados en equipos conocidos como aceleradores lineales, o con fuentes de radiación gamma como el cobalto 60.

Cuando se emplean haces de protones, neutrones o incluso haces de núcleos de carbono u oxígeno, el tratamiento recibe el nombre de *radioterapia con iones pesados*. Hace más de una década que se ha demostrado que este tipo de radioterapia es sumamente eficaz en el tratamiento de cánceres profundos.



Acelerador lineal

En algunos tipos de cánceres es posible introducir el emisor de radiación —en forma encapsulada— en la zona del tumor, de manera que libera la radiación en una zona cercana al lugar donde es colocado: a este método se lo conoce como *braquiterapia*.

Hasta hace unas décadas los equipos de radioterapia consistían principalmente en una fuente del radioisótopo cobalto 60, debidamente blindada, que proporciona rayos gamma provenientes de sus productos de decaimiento. El cobalto 60 tiene una vida media de 5,27 años, por lo cual al cabo de ese tiempo la fuente tiene la mitad de su actividad inicial.

Actualmente estas máquinas están siendo desplazadas por los aceleradores lineales, que pueden producir rayos X y electrones en un rango de energía muy amplio. Las unidades de cobalto, si bien son mucho más simples, no permiten las enormes posibilidades que ofrecen los aceleradores lineales para la eficacia en los tratamientos oncológicos.



Bomba de cobalto

### Industria

---

Cada vez son más las industrias que han optado por utilizar las radiaciones ionizantes en alguna etapa dentro de sus procesos. A continuación daremos algunos ejemplos.

#### Industria metalúrgica

---

La capacidad de atravesar metales que posee la radiación gamma se aprovecha para obtener radiografías de estos a fin de detectar imperfecciones en piezas metálicas, principalmente en las soldaduras.

Además, la uniformidad del espesor de productos que se fabrican en láminas también puede medirse empleando radiación. El equipo consiste en una fuente emisora que se coloca por encima del material cuyo espesor se quiere controlar. Un detector situado por debajo indica la intensidad de la radiación que atraviesa el material, la cual decrece si aumenta el espesor de la lámina.

También se pueden realizar estudios de lubricación y desgaste de las partes móviles de maquinarias empleando un elemento radioactivo. Al desgastarse la pieza con el uso, parte del material radioactivo pasa al lubricante, donde es detectado. Mediante esta técnica se puede estudiar, por ejemplo, el desgaste de un pistón en un motor.

#### Medidas de nivel

---

Con radiación gamma se puede controlar el nivel del líquido contenido en un tanque o en un equipo. Cuando el líquido llega a la altura donde está colocada la fuente emisora, un detector notifica una fuerte disminución de la cantidad de radiación en el extremo opuesto del recipiente y frena el suministro.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

Este método también se utiliza para el llenado de botellas de gas y envasado de productos. Es especialmente útil cuando se quiere evitar el contacto con líquidos, sea porque están a elevadas temperaturas, en recipientes a presión, por ser corrosivos, etcétera.

### Control de equipaje

Es común ver en los aeropuertos que el equipaje de mano pase a través de un equipo emisor de rayos X, el cual permite visualizar de forma rápida su contenido sin necesidad de abrirlo. Lo mismo ocurre con el equipaje que es despachado para la bodega del avión. En cambio, el dispositivo por el que pasa la gente para controlar la presencia de metales no es emisor de radiaciones ionizantes.



### Industria de resinas

Muchas reacciones químicas se producen en presencia de radiación. Un ejemplo es la reacción por la cual se endurece la resina poliéster con la que se impregnan maderas blandas para mejorar su resistencia al agua y a la abrasión.

También en la polimerización del polietileno se obtiene un producto de mayor resistencia mecánica a altas temperaturas cuando el proceso se realiza en presencia de radiación.

### Medidas de humedad

Utilizando fuentes emisoras de neutrones es posible determinar la cantidad de humedad en suelos. Esta es una medición importante para la construcción de carreteras.

### Hidrología

---

El movimiento de las corrientes de agua subterráneas se puede rastrear agregándoles un elemento radioactivo. Esto permite descubrir depósitos subterráneos de agua que pueden utilizarse en el riego.

### Producción de materiales luminiscentes

---

Se basa en la propiedad de las partículas alfa y beta de producir fenómenos de luminiscencia en algunos materiales. Los productos así obtenidos son de utilidad para la señalización de aviones, barcos, trenes, etcétera.

### Detectores de humo

---

Estos dispositivos contienen un detector de radiación y un emisor alfa o beta que da lugar a una corriente de ionización constante. La presencia de humo en el dispositivo provoca una disminución de dicha corriente, y al registrar esta disminución el dispositivo emite una señal.



### Industria textil

---

Tanto la industria textil como la que fabrica películas plásticas emplea elementos radioactivos emisores de partículas alfa para neutralizar la electricidad estática que adquieren los materiales por rozamiento. De esta forma evitan riesgos de incendios originados por chispas producidas entre el material cargado eléctricamente y las partes metálicas de la maquinaria.

### Industria de alimentos

La radiación ataca fuertemente a los microorganismos como bacterias y hongos. Esta es la razón principal de que su uso sea tan extendido en esta área. Permite además almacenar y conservar los alimentos por más tiempo.

Por ejemplo, en la papa y la cebolla los brotes se producen a expensas de los nutrientes que contienen, lo que causa una progresiva disminución del peso y la calidad hasta hacerlos inadecuados para el consumo. Sin embargo, irradiando los alimentos con radiación gamma es posible inhibir la formación de brotes durante el almacenamiento y así obtener un producto más duradero.



En forma similar, varios países exigen que la miel que se importa haya sido irradiada para asegurar los niveles sanitarios que protegen de la propagación de diferentes plagas. Esta práctica tiene efectos positivos, ya que con menos bacterias disminuye la toxicidad del alimento.

Es importante señalar que los alimentos irradiados son completamente aptos para el consumo. No quedan contaminados con radiación ni se convierten en emisores de radiaciones.

### Control de plagas

La irradiación externa constituye frecuentemente una alternativa frente a la fumigación con agentes químicos, ya que presenta la ventaja de su nula toxicidad.

La irradiación de granos como el trigo y el arroz u otros alimentos con radiación gamma permite eliminar insectos, como por ejemplo los gorgojos.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

### Esterilización de insumos médicos

La radiación gamma es utilizada para esterilizar gasas, jeringas y otros insumos médicos generalmente descartables.

### Otros

### Datación fósil

Todos los seres vivos, ya sean animales o vegetales, contienen carbono. Un porcentaje muy pequeño de ese carbono es radioactivo, el carbono 14.



Pirámide de Menkaure (Egipto): rastros de madera permiten la datación con carbono 14

El carbono 14 se genera continuamente en la atmósfera y se transforma luego en dióxido de carbono radioactivo, que es asimilado por los vegetales mediante la fotosíntesis. Al alimentarse, los animales herbívoros incorporan carbono 14 proveniente de las plantas. A lo largo de su vida la cantidad de carbono 14 se mantiene constante, ya que el organismo se encarga de que así sea. Cuando el animal o la planta muere, deja de incorporar dióxido de carbono y entonces el contenido de carbono 14 en su organismo disminuye con el tiempo, ya que es un emisor de radiación beta. Cada 5730 años, que es la vida media del carbono 14, su contenido se reduce a la mitad del valor inicial.

Midiendo en los restos de animales, plantas u objetos confeccionados por el hombre la

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

cantidad de carbono 14 que se desintegra por segundo, es posible determinar su antigüedad o el año de su deceso.

La datación fósil por el método del carbono 14 permite determinar edades de hasta 50.000 años.

### Investigación agrícola

---

Mediante el uso de las radiaciones es posible estudiar, por ejemplo, la forma en que se distribuyen los fertilizantes en las plantas. Para ello se emplean fertilizantes que poseen en su composición un elemento radioactivo y detectores que permiten mostrar la distribución de este elemento dentro de las plantas.

### Medio ambiente

---

La detección de diferentes radioisótopos permite cuantificar la presencia de diferentes sustancias tóxicas en el aire, la atmósfera y el agua.

También de este modo es posible estudiar el cambio climático a lo largo del tiempo registrando la medida de radiaciones en sedimentos. Además de carbono 14, para la datación de los cambios climáticos se utilizan técnicas similares con plomo 210, cuya vida media de 22 años permite estudiar escalas de tiempo diferentes.

### Investigación biológica

---

Gran número y variedad de aplicaciones utilizan radioisótopos que permiten identificar y cuantificar diversos mecanismos, sea en biología, bioquímica, virología u otras áreas. Por ejemplo, mediante el uso de radioisótopos es posible estudiar la distribución de diferentes medicamentos luego de la ingestión.

## ¿Qué usos tienen las radiaciones ionizantes?

En 1948 se pudo estudiar el mecanismo de la fotosíntesis empleando dióxido de carbono que contenía carbono 14.

Utilizando elementos radioactivos se puede estudiar también la velocidad de absorción y distribución de sustancias nutrientes en las plantas.