



Centro de  
Especializaciones  
Noeder

*Curso de Especialización*

# **SEGURIDAD EN TRABAJOS CON FUENTES RADIOACTIVAS**

## **CLASE 01**

**Ing. Jorge Arzapalo Barrera**

# FUENTES RADIOACTIVAS



**ING. JORGE LUIS ARZAPALO B.**



## 1.2 Antecedentes

Como se mencionara anteriormente, con el inicio de las actividades de exploración y la potencial explotación y beneficio de uranio en el Perú, surge la necesidad de desarrollar normas y guías para la protección radiológica de los trabajadores, el público y el ambiente, que regulen y orienten adecuadamente estas actividades.

Por lo general, las actividades de exploración y explotación y beneficio de uranio, así como la seguridad radiológica son reguladas tanto por reglamentos federales como estatales en muchos países, por ejemplo: Canadá, Kazajistán y Australia.

Asimismo, organizaciones internacionales como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) constituyen entidades que elaboran, asesoran y recomiendan estándares de seguridad y de protección contra las radiaciones. Existen muchas disposiciones legales y publicaciones, tanto nacionales como internacionales, sobre protección contra las radiaciones y el manejo de materiales radiactivos, que son mencionados en las referencias. Estas describen los criterios, regulaciones y las buenas prácticas de gestión adoptadas en muchos países y sirvieron de consulta para la elaboración del presente documento. En caso de requerir información más detallada se recomienda consultarlas.



## 2.1 Marco regulador para el uso seguro de las radiaciones

### 2.1.1 Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

Las actividades de exploración minera, incluyendo las de uranio, están reguladas por el Ministerio de Energía a través del D.S. N° 020-2008-EM "Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera".

### 2.1.2 Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

De acuerdo al artículo 3° de la **Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante** Ley N° 28028, la autoridad competente para regular las prácticas que dan lugar a exposición a radiación ionizante es el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), en adelante la Autoridad Nacional. En la actualidad esta entidad ejerce las funciones establecidas por la ley, a través de la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN). El IPEN es un organismo público que pertenece al sector energía y minas.

### 2.1.3 Regulaciones de protección radiológica aplicables a actividades mineras de uranio.

El **Reglamento de Seguridad Radiológica** establece los requerimientos básicos para la protección contra la exposición a la radiación ionizante y la seguridad de las fuentes de radiación que puedan causar exposición, que incluye a los minerales de uranio. Su objetivo es garantizar la seguridad del trabajador, el público y el ambiente ante riesgos radiológicos asociados con fuentes de radiaciones ionizantes.



### 2.2 Responsabilidades

La Ley N° 28028 "Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante", y su reglamento, indica las responsabilidades del Instituto Peruano de Energía Nuclear (Autoridad Nacional) y de las personas naturales y jurídicas en temas relacionados con las prácticas que involucran exposición a las radiaciones ionizantes.

La Autoridad Nacional tiene a su cargo las funciones de regulación, autorización, control y fiscalización del uso de fuentes de la radiación ionizante y la seguridad nuclear, así como la protección física y salvaguardia de los materiales nucleares. La OTAN (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional) es la oficina responsable de realizar las acciones delegadas a la Autoridad Nacional. Las personas naturales o jurídicas autorizadas son responsables de cumplir las disposiciones de los reglamentos y los límites que involucren exposición a radiación ionizante o con fuentes de radiación, deberán contar con la autorización correspondiente expedida por la OTAN, antes de la ejecución de las mismas. Esto incluye el cumplimiento de lo prescrito para la protección física y salvaguardias, de conformidad con los tratados internacionales suscritos y ratificados por el Perú. Las personas naturales o jurídicas autorizadas son responsables de la implementación de las disposiciones de los reglamentos y los límites y condiciones establecidos en las autorizaciones otorgadas por la OTAN.



## RADIACIÓN

-  *El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.*
-  *La radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas (Rayos X, Rayos UV, etc.) se llama radiación electromagnética, mientras que la radiación corpuscular es la radiación transmitida en forma de partículas subatómicas (partículas  $\alpha$ , neutrones, etc.) que se mueven a gran velocidad en un medio o el vacío, con apreciable transporte de energía.*
-  *Si la radiación transporta energía suficiente como para provocar ionización en el medio que atraviesa, se dice que es una radiación ionizante. En caso contrario se habla de radiación no ionizante (extrae los electrones de sus átomos)*
-  *El carácter ionizante o no ionizante de la radiación es independiente de su naturaleza corpuscular u ondulatoria.*

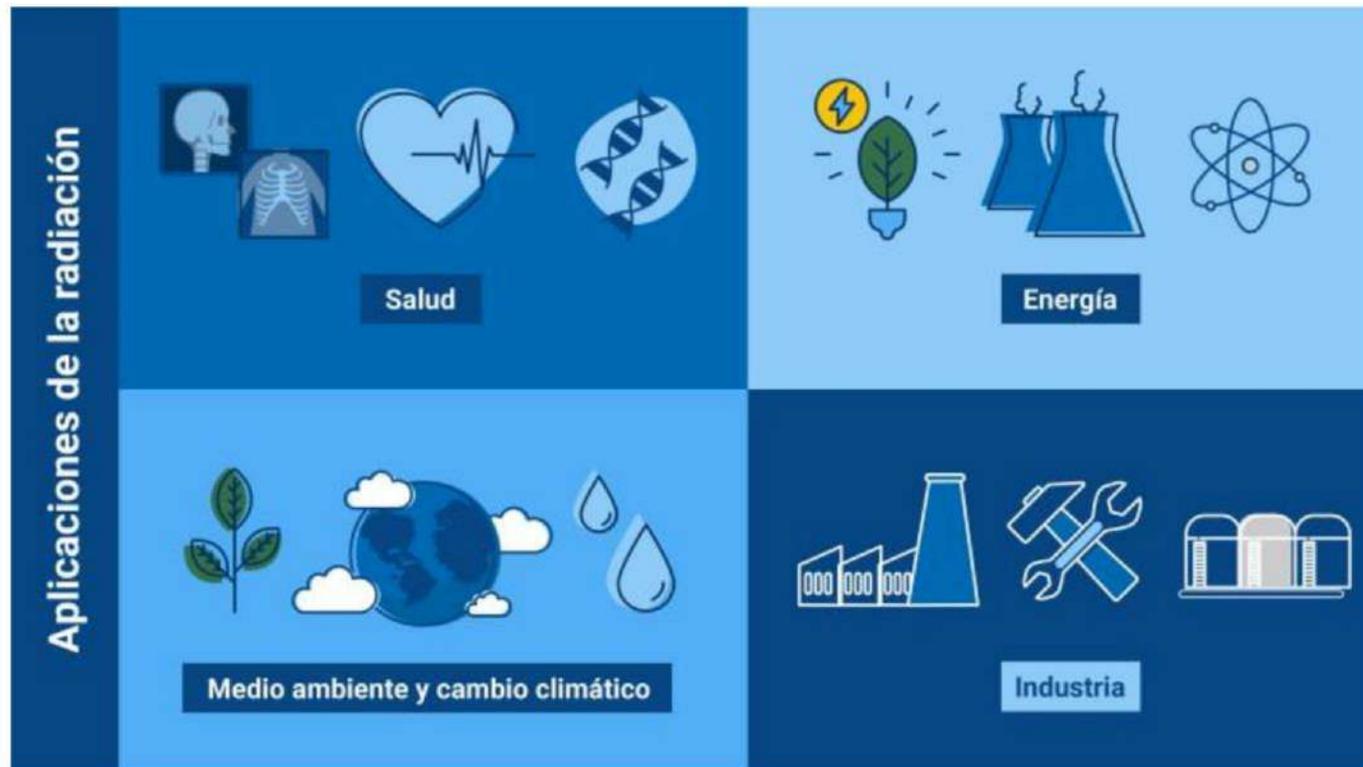
# FUENTES RADIOACTIVAS



## RADIACIÓN



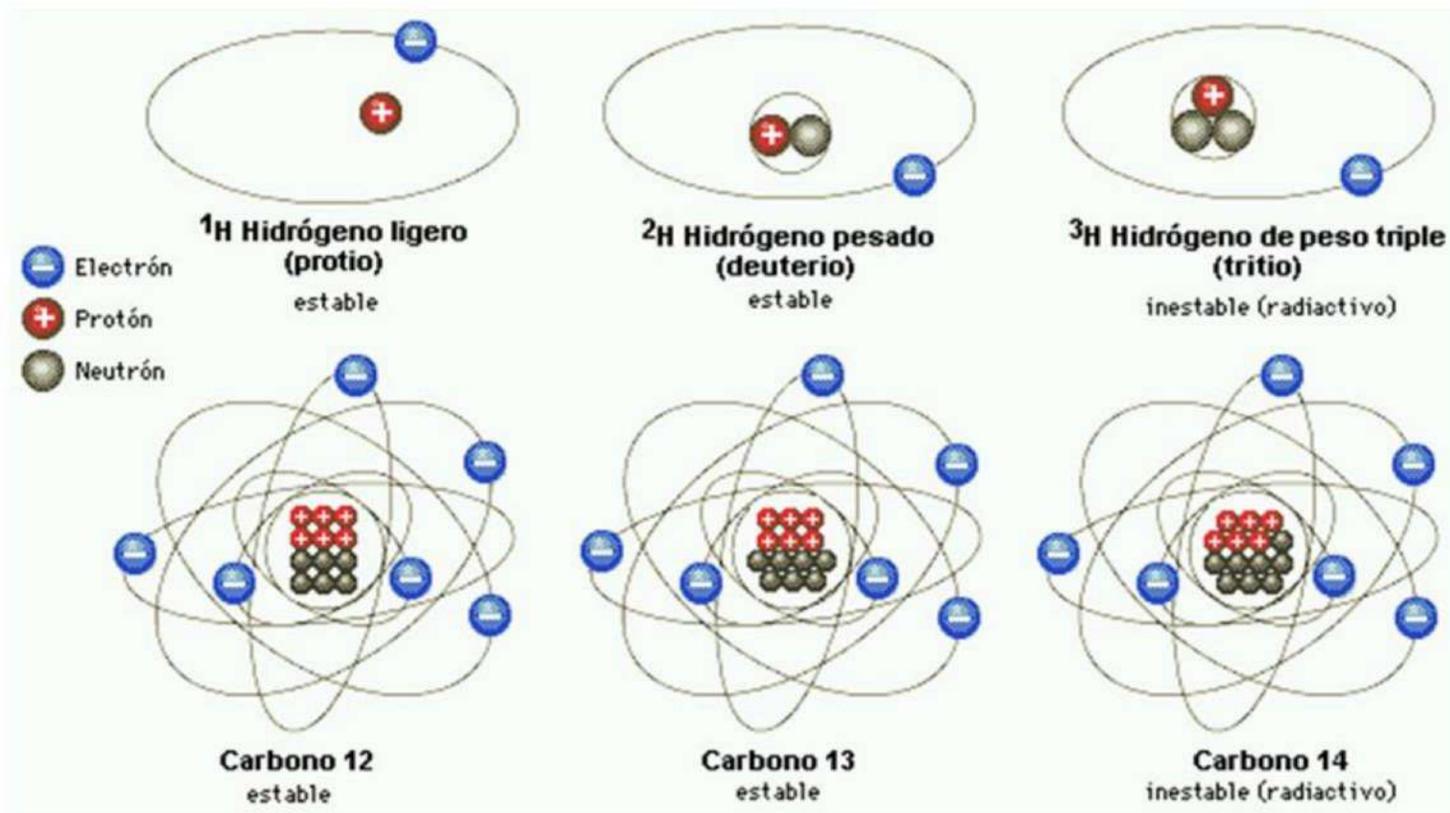
Son radiaciones ionizantes los Rayos X, Rayos  $\gamma$ , y Partículas  $\alpha$ , entre otros. Por otro lado, radiaciones como los Rayos UV y las ondas de radio, TV o de telefonía móvil, son algunos ejemplos de radiaciones no ionizantes.



## RADIACIÓN



Algunas sustancias químicas están formadas por elementos químicos cuyos núcleos atómicos son inestables, como consecuencia de esa inestabilidad los átomos de esas sustancias emiten partículas subatómicas de forma intermitente y de manera aleatoria (isótopos radioactivos)



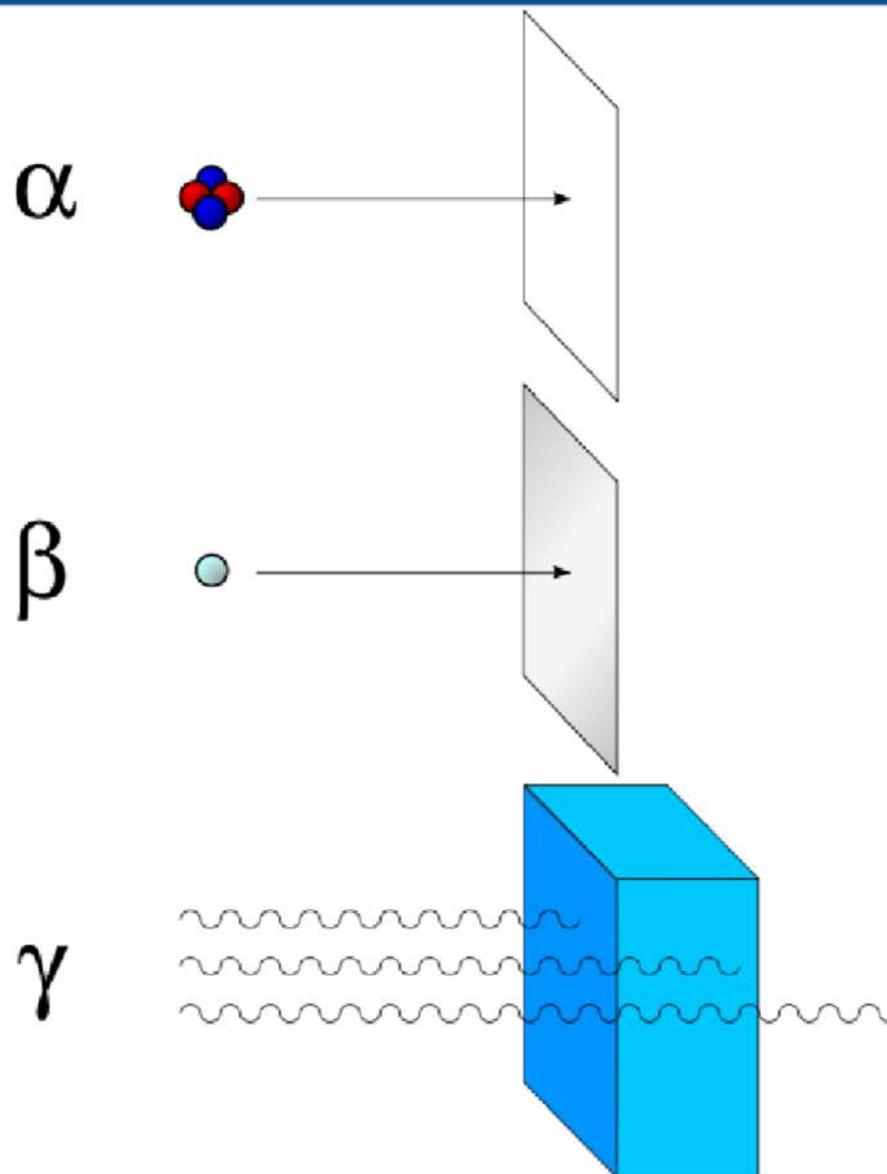


## RADIACIÓN

-  *La energía puede ser liberada, principalmente, en forma de rayos alfa (núcleos de helio), beta (electrones o positrones) o gamma (energía electromagnética).*
-  *En general son radioactivas las sustancias que presentan un exceso de protones o neutrones.*
-  *Cuando el número de neutrones no es igual que el número de protones se hace más difícil que la fuerza nuclear pueda mantenerlos unidos.*
-  *Eventualmente el desequilibrio se corrige mediante la liberación del exceso de neutrones o protones, en forma de partículas  $\alpha$  que son realmente núcleos de Helio, partículas  $\beta$  que pueden ser electrones o positrones. Estas emisiones llevan a dos tipos de radiactividad:*



**PODER DE  
PENETRACIÓN  
DE LOS RAYOS**





## RADIOACTIVIDAD

 *Es aprovechada para la obtención de energía, usada en medicina (radioterapia y radiodiagnóstico)*

*La radiactividad puede ser:*

 **Natural:** *manifestada por los isótopos que se encuentran en la naturaleza.*

 **Artificial o inducida:** *manifestada por los radioisótopos producidos en transformaciones artificiales.*



## RADIATIVIDAD NATURAL

-  En 1896 Becquerel descubrió que ciertas sales de uranio emitían radiaciones espontáneamente, al observar que velaban las placas fotográficas envueltas en papel negro. Ensayó con el mineral en caliente, en frío, pulverizado, disuelto en ácidos y la intensidad de la radiación era siempre la misma. Por tanto, esta nueva propiedad de la materia, radicaba en el interior mismo del átomo.
-  El matrimonio Curie, encontró otras sustancias como el torio, polonio y radio. La intensidad de la radiación emitida era proporcional a la cantidad de uranio presente, por lo que dedujo que se origina exclusivamente en el núcleo de los átomos radiactivos.
-  Rutherford en 1911, quien demostró que las radiaciones emitidas por las sales de uranio eran capaces de ionizar el aire y de producir la descarga de cuerpos cargados eléctricamente.
-  En 1932 James Chadwick descubrió la existencia del neutrón que Wolfgang Pauli había predicho en 1930, e inmediatamente después Enrico Fermi descubrió que ciertas radiaciones emitidas en fenómenos no muy comunes de desintegración eran en realidad neutrones.



## RADIATIVIDAD ARTIFICIAL

-  *Se produce la radiactividad inducida cuando se bombardean ciertos núcleos estables con partículas apropiadas.*
-  *Si la energía de estas partículas tiene un valor adecuado penetran dentro del núcleo bombardeado y forman un nuevo núcleo que, en caso de ser inestable, se desintegra después radiactivamente.*
-  *Fue descubierta por los esposos Jean Frédéric Joliot-Curie e Irène Joliot-Curie, bombardeando núcleos de boro y aluminio con partículas alfa. Observaron que las sustancias bombardeadas emitían radiaciones después de retirar el cuerpo radiactivo emisor de las partículas de bombardeo.*



## PARTÍCULA ALFA

-  *Las partículas o rayos alfa ( $\alpha$ ) son núcleos completamente ionizados de Helio-4 ( $4\text{He}$ ). Es decir, sin su envoltura de electrones correspondiente.*
-  *Estos núcleos están formados por dos protones y dos neutrones. Al carecer de electrones, su carga eléctrica es positiva, de  $+2q_e$  de carga, mientras que su masa es de 4 uma.*
-  *Se generan habitualmente en reacciones nucleares o desintegración radiactiva de otros núclidos que se transmutan en elementos más ligeros mediante la emisión de dichas partículas.*



## PARTÍCULA BETA

-  *Una partícula beta es un electrón que sale despedido de un suceso radiactivo.*
-  *Por la ley de Fajans, si un átomo emite una partícula beta, su carga eléctrica aumenta en una unidad positiva y el número de masa no varía. Ello es debido a que la masa del electrón es despreciable frente a la masa total del átomo. En cambio, al ser emitida una carga negativa, el átomo queda con una carga positiva más, para compensar el total de la carga eléctrica, con lo cual el número de electrones disminuye.*
-  *Este proceso es debido a la desintegración de un neutrón en un protón y un electrón (desintegración beta).*



## RAYOS GAMMA

-  La radiación gamma es producida por fotones, de elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón.
-  Este tipo de radiación de tal magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia.
-  Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y alimentos.
-  La energía de este tipo de radiación se mide en megaelectronvoltios (MeV). Un Mev corresponde a fotones gamma de longitudes de onda inferiores a  $10^{-11}$  m o frecuencias superiores a  $10^{19}$  Hz.



## CAUSA DE LA RADIOACTIVIDAD

-  En general son radiactivas las sustancias que no presentan un balance correcto entre protones o neutrones. Cuando el número de neutrones es excesivo o demasiado pequeño respecto al número de protones se hace más difícil que la fuerza nuclear pueda mantenerlos unidos.
-  El desequilibrio se corrige mediante la liberación del exceso de neutrones o protones, en forma de partículas  $\alpha$  que son realmente núcleos de Helio, partículas  $\beta$  que pueden ser electrones o positrones. Estas emisiones llevan a dos tipos de radiactividad mencionadas.
-  Cuando un núcleo excitado emite radiación gamma no varía ni su masa ni su número atómico, solo pierde una cantidad de energía  $h\nu$  (donde "h" es la constante de Planck y "nu" es la frecuencia de la radiación emitida).



## LEY DE LA RADIOSENSIBILIDAD

-  *Bergonie y Tribandeu: Los tejidos y órganos más sensibles a las radiaciones son los menos diferenciados y los que exhiben alta actividad reproductiva. Como ejemplo, tenemos:*
-  *Tejidos altamente radiosensibles: Epitelio intestinal, órganos reproductivos (ovarios, testículos), médula ósea, glándula tiroides.*
-  *Tejidos medianamente radiosensibles: tejido conectivo.*
-  *Tejidos poco radiosensibles: neuronas, hueso.*



## EFECTO FOTOELÉCTRICO:

-  Se describe cuando un fotón gamma interactúa con un electrón atómico y le transfiere su energía, expulsando a dicho electrón del átomo.
-  La energía cinética del fotoelectrón resultante es igual a la energía del fotón gamma incidente menos la energía de enlace del electrón.
-  El efecto fotoeléctrico es el mecanismo de transferencia de energía dominante para rayos x y fotones de rayos gamma



## APLICACIONES DEL EFECTO FOTOELÉCTRICO:

-  Los dispositivos llamados fotodiodos y fotomultiplicadores que se basan en este principio, intervienen en procesos como el control de productos industriales, las transmisiones por fax, los tubos de televisión o los amplificadores de imágenes.
-  Entre las más conocidas aplicaciones de este efecto cabe citar, las células fotoeléctricas usadas para la detección de presencia y los equipos fotovoltaicos de los paneles de energía solar.



## EFECTO COMPTON:

-  Se refiere a la interacción donde un fotón gamma incidente hace ganar suficiente energía a un electrón atómico como para provocar su expulsión.
-  La radiación electromagnética que incide sobre ciertas superficies sale con una longitud de onda mayor que la de entrada.
-  En tal caso, la energía global de la radiación disminuiría, y también su frecuencia, con lo que aumentaría la longitud de onda.
-  Con la energía restante del fotón original se emite un nuevo fotón gamma de baja energía con una dirección de emisión diferente a la del fotón gamma incidente. L
-  El Efecto Compton se considera que es el principal mecanismo de absorción de rayos gamma en el rango de energía intermedio entre 100 keV a 10 MeV (Megaelectronvoltio), un rango de energía que incluye la mayor parte de la radiación gamma presente en una explosión nuclear.



## EFECTO COMPTON:

-  *La potencia de los rayos gamma los hace útiles en la esterilización de equipamiento médico. Se suelen utilizar para matar bacterias e insectos en productos alimentarios tales como carne, setas, huevos y vegetales, con el fin de mantener su frescura.*
-  *Debido a la capacidad de penetrar en los tejidos, los rayos gamma o los rayos X tienen un amplio espectro de usos médicos, como la realización de tomografías y radioterapias. Sin embargo, como forma de radiación ionizante, tienen la habilidad de provocar cambios moleculares, pudiendo tener efectos cancerígenos si el ADN es afectado.*
-  *A pesar de las propiedades cancerígenas, los rayos gamma también se utilizan para el tratamiento de ciertos tipos de cáncer. En el procedimiento llamado cirugía gamma-knife, múltiples rayos concentrados de rayos gamma son dirigidos hacia células cancerosas. Los rayos son emitidos desde distintos ángulos para focalizar la radiación en el tumor a la vez que se minimiza el daño a los tejidos de alrededor.*



Centro de  
Especializaciones  
Noeder

*Curso de Especialización*

# **SEGURIDAD EN TRABAJOS CON FUENTES RADIOACTIVAS**

## **CLASE 01**

**Ing. Jorge Arzapalo Barrera**