



Bellavista, 19 de noviembre de 2024

Señor(a):

**RESOLUCIÓN CONSEJO DE FACULTAD N.º 197-2024-CF-FCNM** - Bellavista, 19 de noviembre de 2024.- EL CONSEJO DE FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.

Visto, el acuerdo de Consejo de Facultad adoptado en su Sesión Extraordinaria, realizada el 19 de noviembre del 2024, en su punto de agenda 7. INFORME FINAL DEL PROYECTO "FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al artículo 174 de la norma estatutaria, concordante con el artículo 67 de la Ley Universitaria Ley N°30220, establece que el "El Consejo de Facultad es el órgano de gobierno de la Facultad. La conducción y su dirección le corresponden al Decano, de acuerdo con las atribuciones señaladas en la Ley Universitaria y el Estatuto";

Que, conforme al artículo 124 de la Ley Universitaria N° 30220, "La responsabilidad social universitaria es la gestión ética y eficaz del impacto generado por la universidad en la sociedad debido al ejercicio de sus funciones: académica, de investigación y de servicios de extensión y participación en el desarrollo nacional en sus diferentes niveles y dimensiones; incluye la gestión del impacto producido por las relaciones entre los miembros de la comunidad universitaria, sobre el ambiente, y sobre otras organizaciones públicas y privadas que se constituyen en partes interesadas";

Que, el artículo 13 inciso 13.4 del Estatuto de la Universidad Nacional del Callao, establece entre los fines de la universidad el fomento de acciones de extensión y responsabilidad social hacia la comunidad, promoviendo el desarrollo a través del intercambio de conocimientos culturales, científicos, tecnológicos y artísticos;

Que, mediante Resolución de Consejo de Facultad N.º 154-2024-CF-FCNM, de fecha 06 de setiembre del 2024, se aprobó, con eficacia anticipada, el proyecto del curso taller denominado: 'Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear', el cual se llevó a cabo de manera virtual, a través de la plataforma Google Meet, y presencialmente en el Auditorio y el Salón del Grupo de Investigación de Física Médica (K-105) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, desde el 04 de julio hasta el 02 de agosto de 2024;

Que, mediante Documento s/n, recepcionado el 23 de octubre del 2024, el Comité Organizador, remite el Informe final del proyecto "Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear", para revisión y aprobación en Consejo de Facultad;

Que, visto en Sesión Extraordinaria de Consejo de Facultad realizada el 19 de noviembre del 2024, el punto de agenda y luego de las deliberaciones, los señores consejeros acordaron aprobar el Informe final del proyecto "Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear";

Estando lo glosado; a la documentación de sustento en autos, conforme a lo acordado por el Consejo de Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, y en uso de las atribuciones que le confiere los Artículo 174 y 178 del Estatuto de la Universidad, y el Artículo 67 de la Ley Universitaria, Ley N.º 30220;

**RESUELVE:**

- 1º. **APROBAR**, el **INFORME FINAL** del proyecto "**FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**" de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao, la misma que se anexa y forma parte integrante de la presente Resolución.

2º. **TRANSCRIBIR**, la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Departamentos Académicos, Escuelas Profesionales, Comité de Extensión y Responsabilidad Social, Comité de Calidad Académica y Acreditación (a), para conocimiento y fines consiguientes.

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE**

Fdo. **Dr. JUAN ABRAHAM MÉNDEZ VELÁSQUEZ**. - Decano y presidente del Consejo de Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao.

Fdo. **Mg. GUSTAVO ALBERTO ALTAMIZA CHÁVEZ**. - Secretario Académico.

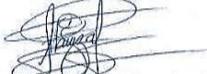
Lo que transcribo a usted para los fines pertinentes.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA



**Dr. Juan Abraham Méndez Velásquez**  
Decano

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática



**Mg. Gustavo Alberto Altamiza Chávez**  
Secretario Académico

# **INFORME DEL PROYECTO: FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

**Introducción:** El proyecto “Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear” se llevó a cabo con el objetivo de impartir conocimientos básicos y experiencias en el área de Física Nuclear, que se dictó con egresados que trabajan en el Instituto Peruano de Energía Nuclear, institución que se encarga de trabajar, investigar y regularizar toda aplicación relacionada a la tecnología nuclear en el país. El curso se enfocó en la realización de 05 temas relacionado en esta área, que abarcó desde la transferencia hasta la seguridad radiológica.

**Desarrollo del Evento:** El curso tuvo lugar el 04 de julio hasta 02 de agosto del presente año, y se desarrolló de manera híbrida vía meet y en las instalaciones de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Durante la jornada, se llevaron temas relevantes al área nuclear. Los asistentes tuvieron la oportunidad de participar activamente en sesiones de preguntas y respuestas, fomentando así el debate y la interacción académica.

## **Ponentes:**

- Mg. Ricardo Flores Camargo
- Lic. Víctor Viera Castillo
- Br. Shamuel Sáenz Sotelo

## **Comité Organizador**

- **Dr. Juan Abraham Méndez Velásquez**
- **Dr. Whualkhuer Enrique Lozano Bartra**
- **Mg. Gustavo Alberto Altamiza Chávez**
- **Mg. Ricardo Flores Camargo**
- **Lic. Victor Viera Castillo**
- **Br. Shamuel Rhabi Sáenz Sotelo**
- **Br. Fernando Flores Quiliche**
- **Est. Fredy Jofre Salas Benavente**

El comité se encargó de la planificación, coordinación logística y promoción del evento, asegurando que todas las actividades se desarrollarán de manera eficiente y cumpliendo con los objetivos establecidos.

## CERTIFICACIÓN

Se entregará un certificado de participación a todos los ponentes por su invaluable contribución al evento, reconociendo su dedicación y conocimiento compartido con la comunidad académica.

El comité organizador recibirá certificado en agradecimiento por su esfuerzo y compromiso en la organización del proyecto.

Los asistentes que haya aprobado el examen final del curso de fundamentos básicos de la energía nuclear recibirán su certificado incluyendo su nota.

A continuación, mostraremos la lista de asistentes que aprobaron el curso:

<b>Alumnos</b>	<b>Evaluación del examen único (EXFI)</b>	<b>Nota de concepto (NC)</b>	<b>Nota final (EXFI + NC)</b>
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	17.6	1.0	19
Garces Lovon, Diego Esteban	16.8	1.0	18
Gomez Tarco, Arturo Leonell	18.4	-	18
Huanca Apolino, Julio Cesar	16.0	0.5	17
Quispe Quispe, Mariluz	17.6	0.5	18
Surco Aslla, Ricardo	16.0	0.5	16
Vargas Palomino, Esteban Omar	17.6	1.0	19

**TABLA 1.** Notas finales de los alumnos en el curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

Se considero que todos los alumnos aprobados tuvieron el 100% de participación presencial o virtual al curso, en ese sentido las notas finales mostradas en la Tabla N°1, se considera el examen único y la nota de concepto (su cálculo se muestra en el siguiente punto) para dicha nota final.

A continuación, se detallarán en las siguientes tablas las notas de concepto y su promedio respectivamente:

<b>CLASE N°1: Fundamentos de Ciencia y Tecnología Nuclear</b>						
<b>Alumnos</b>	Participación 10/5	QUIZIZZ 1 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 1 (Salida) 20/5	Nota Concepto (NC1)
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	0	8	A	A	5	9.6
Garces Lovon, Diego Esteban	0	12	A	A	5	10.4
Gomez Tarco, Arturo Leonell	5	12	A	A	10	13.9
Huanca Apolino, Julio Cesar	0	12	A	A	10	11.4
Quispe Quispe, Mariluz	5	12	A	F	10	10.9
Surco Aslla, Ricardo	5	12	A	A	10	13.9
Vargas Palomino, Esteban Omar	0	0	A	F	0	4.0

**TABLA 2.** Notas de concepto de los alumnos en la primera sesión del curso  
Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

<b>CLASE N°2: Radiaciones Ionizantes y Protección Radiológica</b>						
<b>Alumnos</b>	Participación 10/5	QUIZIZZ 1 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 1 (Salida) 20/5	Nota Concepto (NC2)
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	0	8	A	A	5	13.4
Garces Lovon, Diego Esteban	0	12	A	A	5	13.9
Gomez Tarco, Arturo Leonell	5	12	A	A	10	16.8
Huanca Apolino, Julio Cesar	0	12	A	A	10	10.2
Quispe Quispe, Mariluz	5	12	A	F	10	12.2
Surco Aslla, Ricardo	5	12	A	A	10	14.2
Vargas Palomino, Esteban Omar	0	0	A	F	0	11.9

**TABLA 3.** Notas de concepto de los alumnos en la segunda sesión del curso  
Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

<b>CLASE N°3: Monitores de Radiación y Sistemas de Detección</b>						
<b>Alumnos</b>	Participación 10/5	QUIZIZZ 1 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 1 (Salida) 20/5	Nota Concepto (NC3)
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	1	8	A	A	16	12.3
Garces Lovon, Diego Esteban	4	20	A	A	12	15.4
Gomez Tarco, Arturo Leonell	6	20	A	A	16	17.2
Huanca Apolino, Julio Cesar	1	8	A	A	0	9.1
Quispe Quispe, Mariluz	2	0	A	A	4	8.8
Surco Aslla, Ricardo	3	20	A	A	12	14.9
Vargas Palomino, Esteban Omar	7	20	A	A	8	16.1

**TABLA 4.** Notas de concepto de los alumnos en la tercera sesión del curso  
Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

<b>CLASE N°4: Introducción al análisis radiométrico ambiental</b>						
<b>Alumnos</b>	Participación 10/5	QUIZIZZ 1 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 1 (Salida) 20/5	Nota Concepto (NC4)
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	0	8	A	F	4	6.4
Garces Lovon, Diego Esteban	2	8	A	A	16	12.8
Gomez Tarco, Arturo Leonell	5	12	A	F	0	8.9
Huanca Apolino, Julio Cesar	3	4	A	F	16	9.5
Quispe Quispe, Mariluz	7	4	A	F	8	9.9
Surco Aslla, Ricardo	5	4	A	F	12	9.7
Vargas Palomino, Esteban Omar	0	0	A	F	0	4.0

**TABLA 5.** Notas de concepto de los alumnos en la cuarta sesión del curso  
Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

<b>CLASE N°5: Usos de la energía nuclear y su investigación eficiente</b>						
<b>Alumnos</b>	Participación 10/5	QUIZIZZ 1 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 1 (Salida) 20/5	Nota Concepto (NC5)
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	1	16	A	A	8	12.3
Garces Lovon, Diego Esteban	1	16	A	A	16	13.9
Gomez Tarco, Arturo Leonell	0	12	A	A	8	11.0
Huanca Apolino, Julio Cesar	0	0	A	A	0	7.0
Quispe Quispe, Mariluz	2	0	A	A	0	8.0
Surco Aslla, Ricardo	3	8	A	A	16	13.3
Vargas Palomino, Esteban Omar	5	12	A	A	16	15.1

**TABLA 6.** Notas de concepto de los alumnos en la quinta sesión del curso  
Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

El promedio de las notas de concepto de cada sesión se promedia y se obtiene la nota de concepto final por alumno, se evidencia en la siguiente tabla:

<b>Alumnos</b>	Nota Concepto (NC1)	Nota Concepto (NC2)	Nota Concepto (NC3)	Nota Concepto (NC4)	Nota Concepto (NC5)	Promedio	Nota Concepto final (NC) <sup>1</sup>
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	10	13	12	6	12	11	0.5
Garces Lovon, Diego Esteban	10	14	15	13	14	13	1.0
Gomez Tarco, Arturo Leonell	14	17	17	9	11	14	1.0
Huanca Apolino, Julio Cesar	11	10	9	10	7	9	-

<sup>1</sup> La nota de concepto final es proporcional a la nota final, siendo los 3 primeros estudiantes con nota más alta (1°, 2° y 3°) acreedores a 1 punto adicional respecto al evaluación de examen único. De la misma manera, aquellos que obtuvieron el 4°, 5° y 6° puesto en la nota de concepto se le sumo 0.5 puntos.

Quispe Quispe, Mariluz	11	12	9	10	8	10	0.5
Surco Aslla, Ricardo	14	14	15	10	13	13	1.0
Vargas Palomino, Esteban Omar	4	12	16	4	15	10	0.5

**TABLA 7.** Notas de concepto final de los alumnos del curso Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

A continuación, se detallarán en la siguiente tabla las notas de la evaluación de examen único.

Alumnos	Examen unico (EXFI)
Cusihuata Mercado, Luz Medaly	17.6
Garces Lovon, Diego Esteban	16.8
Gomez Tarco, Arturo Leonell	18.4
Huanca Apolino, Julio Cesar	16.0
Quispe Quispe, Mariluz	17.6
Surco Aslla, Ricardo	16.0
Vargas Palomino, Esteban Omar	17.6

**TABLA 8.** Notas de concepto final de los alumnos del curso Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

## Metodología de evaluación

La nota final del curso consta de una evaluación tipo examen único (**EXFI**) más una nota de concepto (**NC**). La evaluación tipo examen único (**EXFI**) se realizará al final del curso, para que el postulante pueda rendir el EXFI, debe de rendir las evaluaciones permanentes en la plataforma Quizziz (parcialmente), responder una encuesta (parcialmente) y acreditar el 100% de asistencia. La nota de concepto que tendrán un puntaje de concepto adicional y evaluarán el avance del estudiante. La nota de concepto (**NC**) se tomará en consideración varios aspectos durante cada sesión y tendrá un puntaje mínimo (max. 1 punto). A continuación, se explica con más detalle:

- **Nota de concepto (NC):** La nota de concepto fue un puntaje adicional que considero la asistencia (**A**), la participación en clases (**P**), una evaluación permanente al inicio (**EP1**) y al final (**EP2**) de la clase elaborado en Quizziz y una encuesta docente (**ED**). A continuación, se muestra la fórmula empleada:

$$NC1 = \frac{10 * A + 4 * EP1 + 4 * EP2 + 4 (participación) + 3 (encuesta)}{20}$$

$$NC = \frac{NC1 + NC2 + NC3 + NC4 + NC5}{5}$$

$$NC = 1pto (1^{\circ}, 2^{\circ}, 3^{\circ}) \text{ o } 0.5pto(4^{\circ}, 5^{\circ}, 6^{\circ})$$

La nota de concepto final evalúa el avance del estudiante durante cada sesión y su participación, donde los 3 primeros estudiantes con las mayores notas de concepto tendrán 1 punto adicional; mientras que el cuarto, quinto y sexto puesto tendrán 0.5 punto.

- **Evaluación tipo examen único (EXFI):** La evaluación de tipo examen único consta de 25 preguntas y cubre todos los tópicos desarrollados en el curso “Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear”. A continuación, se muestra la fórmula empleada:

$$EXFI = \frac{\#preguntas correctas (máx. 25)}{25} * 20$$

La evaluación de tipo examen único evalúa el conocimiento adquirido por el estudiante durante todas las 5 sesiones del curso (Véase tabla N°2)

Unidad	Ponente
Fundamentos de Ciencia y Tecnología Nuclear	Victor Viera Castillo
Radiaciones Ionizantes y Protección Radiológica	Shamuel Saenz Sotelo
Monitores de Radiación y Sistemas de Detección	Shamuel Saenz Sotelo
Introducción al análisis radiométrico ambiental	Victor Viera Castillo
Usos de la energía nuclear y su investigación eficiente	Ricardo Flores Camargo / Víctor Viera Castillo

**TABLA 2.** Sesiones del curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear

## ANEXOS

### Galería de fotos







## EVIDENCIAS DE LAS CLASES

- Primera sesión del curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear: Fundamentos de Ciencia y Tecnología Nuclear



Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FNCM  
Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

## FUNDAMENTOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

Modelos atómicos. Estructura atómica. Nomenclatura. Estabilidad nuclear. Radioisótopos en técnicas nucleares. Radiactividad. Actividad y ley de decaimiento radiactivo. Unidad de actividad. Semiperíodo y vida media. Radiaciones ionizantes. Tipo y características de las radiaciones: Radiación alfa, beta, gamma. Radiación neutrónica. Interacción de la radiación con la materia (X). Efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares. Reacciones nucleares. Interacción de neutrones con la materia.

## Estabilidad nuclear

Un núcleo es estable si su energía es menor que la energía de las partículas por separado. Es decir, si al formarse, ha desprendido energía. Para romper el núcleo será necesaria dicha energía

Equivalencia masa - energía:

$$E = mc^2$$

En una reacción nuclear no se conserva la masa, sino la energía.

Defecto de masa:

Diferencia entre la suma de las masas de cada una de los nucleones que lo forman (masa teórica) y la masa de un núcleo.

$$\Delta m = m_{teórica} - m_{real}$$

$$\Delta m = \sum m_i - m_{real} = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{real}$$

Energía de enlace:

Cantidad de energía desprendida en la formación de un núcleo debido a la pérdida de masa del proceso.

$$E_e = |\Delta m \cdot c^2|$$

Coincide pues con la cantidad de energía necesaria para descomponer un núcleo en sus partículas

Energía por nucleón:

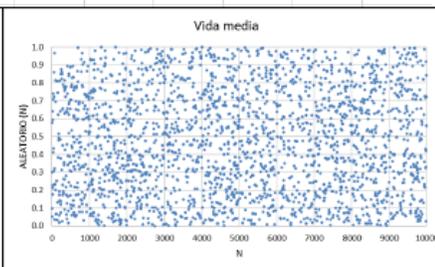
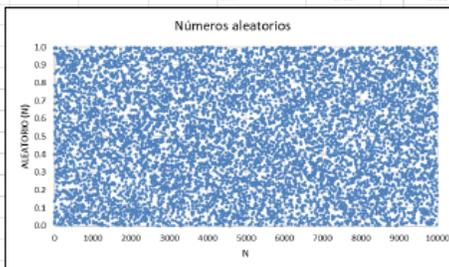
Energía de enlace promedio por nucleón. A mayor valor, mayor estabilidad del núcleo.

$$E_n = \frac{E_e}{A}$$

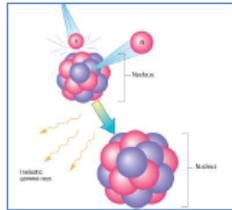
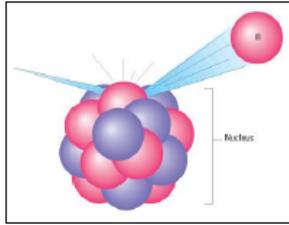
## Periodo de Vida media:

Programa Monte Carlo para calcular el periodo de semidesintegración

	Aleatorio	Vida media (d)	Ln2	T1/2			
1	0.57	3.33	0.6931	2.70	d	λ → Es la constante de decaimiento (es igual a ln(2)/ T1/2)	
2	0.76	5.51		233021	s		
3	0.76	5.53					
4	0.59	3.45	Nº Datos	10000			
5	0.39	1.92	Lambda	0.26			
6	0.33	1.54	vm	3.89	3.89		
7	0.28	1.26					
8	0.83	6.81					
9	0.75	5.38					
10	0.08	0.33					
11	0.53	2.96					
12	0.01	0.03					
13	0.24	1.08					
14	0.52	2.83					
15	0.99	18.06					
16	0.80	6.17					
17	0.01	0.02					
18	0.22	0.97					
19	0.72	4.93					



### INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

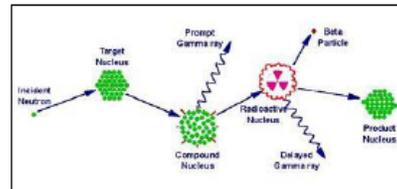
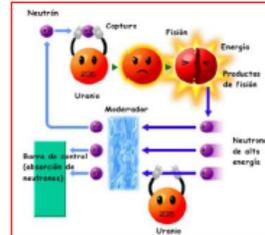


#### Dispersión Elástica e Inelástica

Fundamentos básicos de la energía nuclear

2024

$$\sigma_{total} = \sigma_{el\acute{a}s} + \sigma_{inel\acute{a}s} + \sigma_{captura} + \dots$$



#### Fisión y Captura Radiactiva

45



IPEN: 2do Critico (16-09-2019 / 23:31 h)



PUCP: Curso de Montecarlo

# Muchas Gracias

- [victor.viera@pucp.edu.pe](mailto:victor.viera@pucp.edu.pe)
- [vviera@ipen.gob.pe](mailto:vviera@ipen.gob.pe)
- [vmvierac@unac.edu.pe](mailto:vmvierac@unac.edu.pe)

Fundamentos básicos de la energía nuclear

2024

## 1. FUNDAMENTOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 96027088, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=96027088>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre  
APELLIDO Y NOMBRE

INICIAR



Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

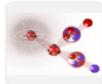
CÓDIGO DE TEST:

**9602 7088**

2

1. Opción múltiple 1.5 minutos 4 puntos

Marque las alternativas correctas) ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?

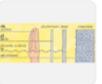


Opciones de respuesta

<input checked="" type="checkbox"/> PROTONES	<input checked="" type="checkbox"/> NEUTRONES
<input type="checkbox"/> ELECTRONES	<input type="checkbox"/> POSITRONES
<input type="checkbox"/> LEPTONES	

2. Opción múltiple 2 minutos 4 puntos

Marque las alternativas correctas. Un núcleo es radiactivo cuando ...



Opciones de respuesta

<input checked="" type="checkbox"/> Puede emitir radiación, por ejemplo: Rayos gamma, partículas alfa, etc.	<input type="checkbox"/> Emiten rayos ultravioleta y ondas de radio.
<input type="checkbox"/> Se desintegra mediante un proceso determinista	<input checked="" type="checkbox"/> Se desintegra mediante un proceso estocástico
<input checked="" type="checkbox"/> Puede emitir neutrones y protones.	

3. Opción múltiple 2 minutos 4 puntos

Respecto a la notación del núcleo responda lo verdadero:



Opciones de respuesta

- El número atómico "A" es igual al número de electrones
- El número másico "A" corresponde a la suma de neutrones más protones
- Los nucleidos que tienen un número atómico "Z" igual, se le denomina isobaros
- Los nucleidos que tienen un número de protones igual, se le denomina isótonos
- El hidrogeno, el deuterio y el tritio son isótopos

4. Opción múltiple 30 segundos 4 puntos

La actividad de un isótopo, por ejemplo: Uranio - 235, depende de las características de la muestra (densidad, color, olor, aspereza, etc)



Opciones de respuesta

- Verdadero
- Falso

5. Opción múltiple 45 segundos 4 puntos

Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). ¿En qué se diferencia un reactor nuclear de investigación (RNI) con una central nuclear?



- Opciones de respuesta
- No se diferencian.
  - El reactor nuclear de investigación esta diseñado para producir electricidad y la central nuclear no.
  - La central nuclear esta diseñado para producir electricidad y el reactor nuclear de investigación no.
  - La central nuclear a lo mucho llega a 1 MW potencia térmica.
  - Existe solamente 1 reactor de investigación en el Perú.

## 1. FUNDAMENTOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 89889187, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=89889187>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre  
APELLIDO Y NOMBRE

INICIAR



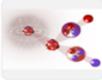
Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**8988 9187**

7

1. Opción múltiple 1 minutos 5 puntos

Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). ¿Cuáles son partículas elementales?



Opciones de respuesta

- PROTONES
- ELECTRONES
- NEUTRINOS
- NEUTRONES
- QUARKS

2. Opción múltiple 2 minutos 5 puntos

Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). ¿Cuáles son los procesos de interacción de la radiación ionizante con la materia más importantes?



Opciones de respuesta

- Efecto fotoeléctrico
- Dispersión de Compton
- Dispersión de Rayleigh
- Dispersión de Thompson
- Creación de pares

3. Opción múltiple 2 minutos 5 puntos Editar

Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). ¿Cuáles son los procesos de interacción de los neutrones?



Opciones de respuesta

- Dispersión elástica, colisiones para neutrones con energías menores a 0.1 MeV.
- Dispersión inelástica, colisiones para neutrones con energías mayores a 1 MeV.
- Fisión nuclear, el núcleo fisible pesado se divide en núcleos más livianos.
- Captura radiactiva, el núcleo absorbe al neutrón
- Conversión interna, emisión de electrones debido que el núcleo le cede energía

4. Opción múltiple 3 minutos 5 puntos Editar

Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). ¿En qué se utiliza el Tc-99m, Ir-192, I-131?



Opciones de respuesta

- Se utilizan en radiodiagnóstico, radiografía industria, medicina nuclear; respectivamente.
- Se utilizan en medicina nuclear, radiodiagnóstico, radiodiagnóstico; respectivamente.
- Se utilizan en radiodiagnóstico, radiografía industria, radiografía industria; respectivamente.
- Se utilizan en medicina nuclear, radiografía industria, radiodiagnóstico; respectivamente.
- Se utilizan en medicina nuclear, medicina nuclear, radiodiagnóstico; respectivamente.

- Segunda sesión del curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear: Radiaciones Ionizantes y Protección Radiológica

Universidad Nacional del Callao  
 Ciencia y Tecnología del Tercer Milenio  
 Universidad Licenciada, Resolución N° 171-2019-SUNEDUCO

**CURSO - TALLER**  
**FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

FCNM | GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA MEDICA

**Radiación Ionizante y Protección Radiológica**

Br. Shamuel Saenz Sotelo

**FCNM PREGRADO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
 UNAC

Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

Universidad Nacional del Callao  
 Ciencia y Tecnología del Tercer Milenio  
 Universidad Licenciada, Resolución N° 171-2019-SUNEDUCO

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FCNM  
 Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN IONIZANTE Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Fuentes de radiación. Fuente sellada. Fuente no sellada. Generadores de radiación. Magnitudes. Magnitudes de protección radiológica. Magnitudes operacionales. Principios de protección radiológica. Limite de dosis. Riesgos radiológicos. Medidas de protección radiológicas. Tiempo. Blindaje. Distancia. Mediadas de protección contra exposición interna.

Fundamentos básicos de la energía nuclear 2024

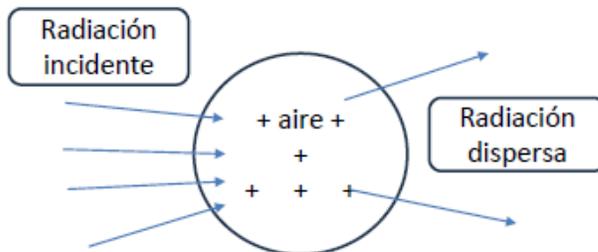
## Fuentes No Selladas

- Una **fente no sellada** es una fuente radiactiva en la que el material radiactivo no está encerrado de forma hermética y permanente en una cápsula; ni firmemente agredado y en forma sólida.
- Las fuentes no selladas consisten en polvos, líquidos o, a veces, gases que contienen elementos radiactivos.



## Magnitudes de Protección Radiológica

- **Exposición (X)**
  - Es una magnitud radiométrica basada en la capacidad que tienen la radiación de producir ionización en el aire.
  - Se define como la carga eléctrica total de iones (positivos o negativos) producidos por unidad de masa de aire.



$$X = \frac{Q}{m}$$

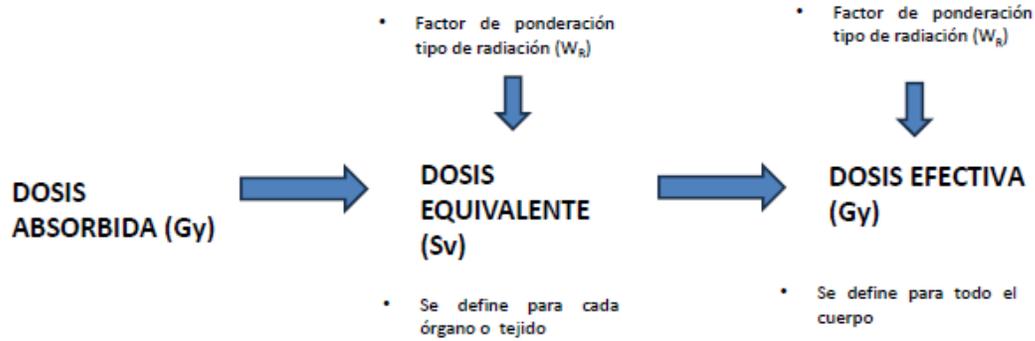
Unidad: En el SI es el coulomb/kilogramo (C/kg).

La unidad original fue el Roentgen (R),  $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$

Nota:

Esta magnitud SOLO se define para fotones de energía menor a 3 MeV

## Resumen



**Nota:** Gray y Sievert se definen de la misma manera en el Sistema Internacional  
**Gy(J/kg) Sv (J/kg)**



# GRACIAS!!!

Contacto:

- ☐ [samuelsaenz1119@gmail.com](mailto:samuelsaenz1119@gmail.com)
- ☐ [Shamuel.saenz.s@uni.pe](mailto:Shamuel.saenz.s@uni.pe)
- ☐ [ssaenz@ipen.gob.pe](mailto:ssaenz@ipen.gob.pe)
- ☐ [srsaenz@unac.edu.pe](mailto:srsaenz@unac.edu.pe)

## 2. RADIACIONES IONIZANTE Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 91489731, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=91489731>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre

APELLIDO Y NOMBRE

INICIAR



Una vez empezado tiene **8 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**9148 9731**

2

1. Opción múltiple 30 segundos 4 puntos

Complete la siguiente oración con la respuesta correcta.  
Una \_\_\_\_\_ es una fuente que contiene material radiactivo que se utiliza como fuente de radiación.



Opciones de respuesta

Fuente radiactiva  Fuente térmica  
 Fuente eléctrica  Fuente termoluminiscente

2. Opción múltiple 20 segundos 4 puntos

Complete la siguiente oración con la respuesta correcta.  
Las \_\_\_\_\_ consisten en polvos, líquidos o gases que contienen elementos radiactivos.



Opciones de respuesta

Fuentes selladas  Fuentes no selladas

3. Opción múltiple 45 segundos 4 puntos

Cual de las siguientes alternativas es una magnitud física:



Opciones de respuesta

- Dosis absorbida en órganos
- Monitoreo de area
- Fluencia
- Todas las alternativas

4. Opción múltiple 30 segundos 4 puntos

La dosis absorbida tiene sus unidades en:



Opciones de respuesta

- Curie (Ci)
- Gray (Gy)
- Becquerelios (Bq)
- Sievert (Sv)

5. Opción múltiple 30 segundos 4 puntos

La dosis equivalente en órganos tiene sus unidades:



Opciones de respuesta

- Curie (Ci)
- Gray (Gy)
- Becquerelios (Bq)
- Sievert (Sv)

## 2. RADIACIONES IONIZANTE Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://quizizz.com) y coloque el código 69990551, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=69990551> o por el código QR.
- Ingrese al test colocando su primer apellido y nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

<https://quizizz.com/join?gc=69990551>  
Ctrl+clic para seguir vínculo

Ingrese su Nombre  
APELLIDO Y NOMBRE  
INICIAR



Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**6999 0551**

7

1. Opción múltiple 1 minute 4 puntos

Las \_\_\_\_\_ de vigilancia de área y ambiental se utilizan para evaluar la dosis recibida por el público en general debido a la exposición a radiación externa. Estas magnitudes se miden mediante dosímetros o detectores ambientales. Estiman el equivalente de dosis ambiental recibido por individuos en las cercanías.

opciones de respuesta

Magnitudes físicas  Magnitudes de protección

Magnitudes operacionales

2. Opción múltiple 20 segundos 4 puntos

Marque verdadero o falso:  
A mayor distancia de la fuente, menor radiación recibo

opciones de respuesta

Verdadero  Falso

3. Opción múltiple 1 minute 4 puntos

**TIPOS DE RADIACIÓN**



Los materiales más comúnmente utilizados para blindar la radiación gamma son los de alta densidad, ya que pueden detenerlos o absorberlos. Entre ellos se encuentran:

opciones de respuesta

- Plomo, concreto, agua, titanio y tungsteno.
- Plomo, concreto, acero, aluminio y cobre.
- Concreto, plomo, vidrio, agua y acero.

4. Opción múltiple 1 minute 4 puntos

Complete el siguiente espacio en blanco:  
La \_\_\_\_\_ es un principio físico utilizado en radioprotección para describir cómo disminuye la intensidad de la radiación ionizante a medida que un individuo se aleja de una fuente radiactiva.

opciones de respuesta

- La intensidad
- La ley de inverso del cuadrado
- La potencia

5. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

**Exposición radiactiva**



La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o ingresar al cuerpo a través de heridas. En este sentido, es importante considerar la protección contra la contaminación externa y, en consecuencia, algunas barreras relacionadas

opciones de respuesta

- Exposición interna - contaminación externa
- Contaminación externa - exposición interna
- Optimización - Blindaje
- Atenuación - contaminación interna.

- Tercera sesión del curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear: Monitores de Radiación y Sistemas de Detección


**Universidad Nacional del Callao**  
 Ciencia y Tecnología del Sur Misionero  
 Universidad peruana. Resolución N° 171-2019-UNEDUCO

**CURSO - TALLER**  
**FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERÍA NUCLEAR**


  
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA MEDICA

**FCNM**  
**PREGRADO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
**UNAC**

Monitores de Radiación y Sistemas de Detección ☢

Br. Shamuel Saenz Sotelo

Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

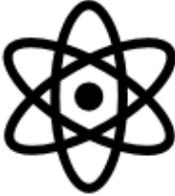

**Universidad Nacional del Callao**  
 Ciencia y Tecnología del Sur Misionero  
 Universidad peruana. Resolución N° 171-2019-UNEDUCO

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FNCM  
 Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

## Detección de la Radiación

**Radiación**

- ALFA
- BETA
- NEUTRONES
- GAMMA
- X
- OTRAS PARTICULAS



➔

**DETECTOR**

- CÁMARA DE IONIZACIÓN
- GM
- PROPORCIONAL
- CENTELLADOR
- SEMICONDUCTOR

↓

Señal eléctrica

- Corriente.
- Pulsos

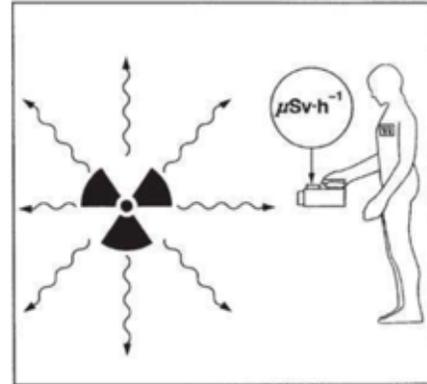
Instrumento electrónico

Fundamentos básicos de la energía nuclear 2024

## Clasificación

### DETECTOR DE ÁREA:

- ❖ Se utilizan para evaluar la irradiación externa.
- ❖ Normalmente se usan en modo de tasa de dosis (mSv/h).
- ❖ Puede ser portátil o fijo, depende de su uso.



## Recuerda

### “Geiger”

- ✓ Utiliza un tubo lleno de gas a baja presión y un voltaje alto aplicado entre un ánodo y un cátodo.
- ✓ Las moléculas de gas ionizadas son aceleradas por el campo eléctrico, produciendo una cascada de ionización.
- ✓ Detecta alfa, beta y gamma.
- ✓ Uso común en medidores portátiles para la detección de radiación en el medio ambiente y en la industria.
- ✓ Alta sensibilidad a niveles bajos de radiación.
- ✓ No distingue entre diferentes tipos de radiación.

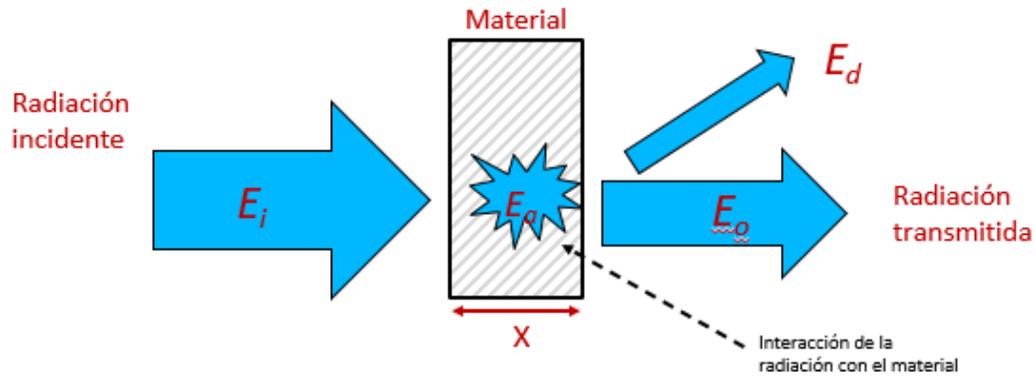


### “Cámara de ionización”

- ✓ Consiste en un volumen de gas (*generalmente aire*).
- ✓ La radiación ionizante ioniza el gas, produciendo pares de iones. Estos van a generar una corriente que es proporcional a la energía de la radiación incidente.
- ✓ Da una medición precisa de la dosis de radiación.
- ✓ Usado en radioterapia, protección radiológica y estudios de dosimetría.
- ✓ Menos sensible que un contador Geiger a bajos niveles de radiación.
- ✓ Proporciona una medida cuantitativa de la energía de la radiación, permitiendo distinguir entre los diferentes tipos de radiación.

Un contador geiger es más adecuado para la detección general de radiación y es muy sensible a niveles bajos, mientras que una cámara de ionización se utiliza para mediciones precisas de la dosis de radiación y puede proporcionar información sobre la energía de la radiación.

## Detección de radiaciones

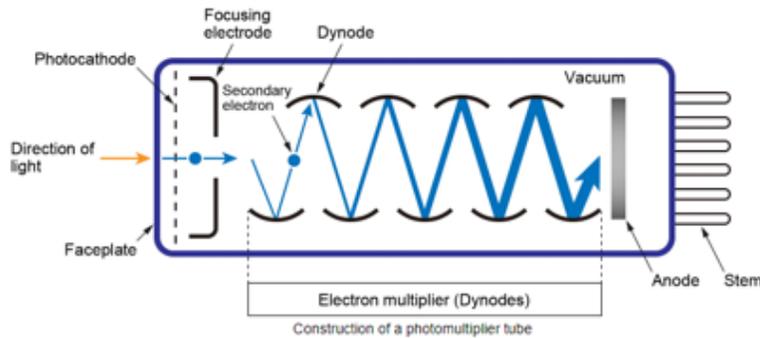


$$E_i = E_o + E_d + E_a \longrightarrow E_o < E_i$$

$$E_o = E_i \cdot e^{-\mu X}$$

## Tubo fotomultiplicador

- La luz emitida por un centellador es muy débil.
- Un tubo PM convierte la luz emitida por el centellador en corriente eléctrica
- Partes principales: fotocátodo, dínodos, ánodo





GRACIAS!!!

Contacto:

- [samuelsaenz1119@gmail.com](mailto:samuelsaenz1119@gmail.com)
- [Shamuel.saenz.s@uni.pe](mailto:Shamuel.saenz.s@uni.pe)
- [ssaenz@ipen.gob.pe](mailto:ssaenz@ipen.gob.pe)
- [rsaez@unac.edu.pe](mailto:rsaez@unac.edu.pe)

**TEST ONLINE – QUIZZ**  
(entrada)



**3. MONITORES DE RADIACIÓN Y SISTEMAS DE DETECCIÓN**

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 70172651, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=70172651>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre


Una vez empezado tiene **8 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**7017 2651**

1. Opción múltiple Mejorar con IA Editar



¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización?

opciones de respuesta

- Detectar neutrones térmicos
- Medir la energía de fotones gamma
- Detectar la radiación partículas beta
- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz

2. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

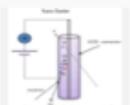


¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma?

opciones de respuesta

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- U, uranio
- H, hidrógeno
- B, boro
- He, helio

3. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

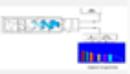


¿Cuál de los siguientes detectores es más adecuado para la detección de neutrones?

opciones de respuesta

- Detector Geiger Müller
- Detector tipo cámara de ionización
- Detector de Ioduro de sodio
- Detector de Helio-3
- Detector de germanio

4. Opción múltiple Mejorar con IA Editar



¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica?

opciones de respuesta

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Fotomultiplicador
- Analizador multicanal

5. Opción múltiple Mejorar con IA Editar



Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). ¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

opciones de respuesta

- Baja resolución energética
- Baja eficiencia de detección
- Alta capacidad de detección alfa
- Alta resolución energética
- Alta capacidad de detección de neutrones

### 3. MONITORES DE RADIACIÓN Y SISTEMAS DE DETECCIÓN

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 67614288, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=67614288>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Samuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre


Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:

**6761 4288**

1. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

 ¿Qué instrumento se utiliza para medir la tasa de dosis de radiación en un área determinada?

opciones de respuesta

- Espectrómetro gamma
- Contador proporcional
- Dosímetro de área
- Cámara de ionización de plano paralelo

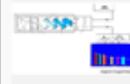
2. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

 ¿Cuál es la diferencia principal entre un contador Geiger-Müller y una cámara de ionización?

opciones de respuesta

- La cámara de ionización detecta solo partículas alfa
- El contador Geiger-Müller no puede detectar radiación beta
- El contador Geiger-Müller tiene una mayor sensibilidad pero menor resolución energética
- La cámara de ionización tiene una menor sensibilidad pero mayor resolución energética

3. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

 ¿Qué dispositivo se utiliza para amplificar las señales eléctricas débiles provenientes de un detector de radiación?

opciones de respuesta

- Pre-amplificador
- Analizador de pulsos
- Fuente de alta tensión
- Fotomultiplicador

4. Opción múltiple Mejorar con IA Editar

 ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica?

opciones de respuesta

- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la actividad emitida por una fuente radiactiva
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.

5. Opción múltiple Mejorar con IA Editar



¿Cuál no es una instrumentación electrónica utilizada en el ámbito nuclear?

opciones de respuesta

- Monitores de radiación
- Contador Geiger
- Gammagrafo nuclear
- Detectores para espectrometría gamma
- Osciloscopio electrónico

- Cuarta sesión del curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear: Introducción al análisis radiométrico ambiental

Universidad Nacional del Callao  
 Ciencia y Tecnología del Sector Minero  
 Universidad Licenciada Resolución N° 171-2019-SUNEDUCO

**CURSO - TALLER**  
**FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

GNM |

**FCNM**  
**PREGRADO**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**

**4. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO AMBIENTAL**

Mg. Víctor M. Viera Castillo

UNAC

Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

Universidad Nacional del Callao  
 Ciencia y Tecnología del Sector Minero  
 Universidad Licenciada Resolución N° 171-2019-SUNEDUCO

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FNCM  
 Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

**INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO AMBIENTAL**

Recordar: Emisiones radiactivas – Atenuación gamma. Radionúclidos primigenios. Formación de la tierra. Cadenas radiactivas. Análisis de las principales cadenas radiactivas naturales. Serie del torio. Serie del uranio. Serie del actinio. Serie del neptunio. El radón y sus consecuencias a la salud humana. Espectrometría nuclear básica. Análisis de espectros: K-40, TI-208 y Bi-214. Metodología para realizar mediciones ambientales en suelos. Ejercicios diversos.

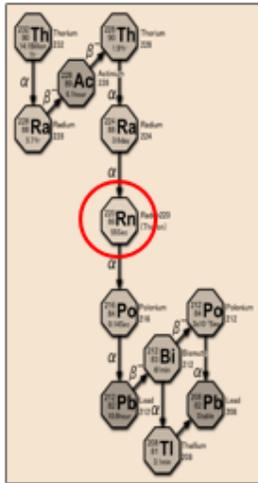
Fundamentos básicos de la energía nuclear

2024

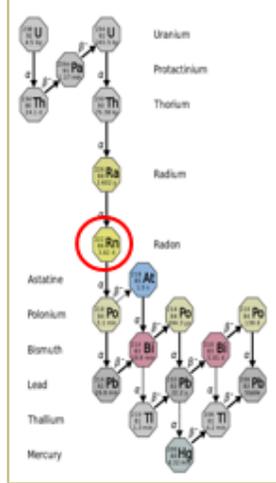
2

## ANÁLISIS DE LAS CADENAS RADIACTIVAS (55 s – 3,82 d – 3,96 s – 25 m)

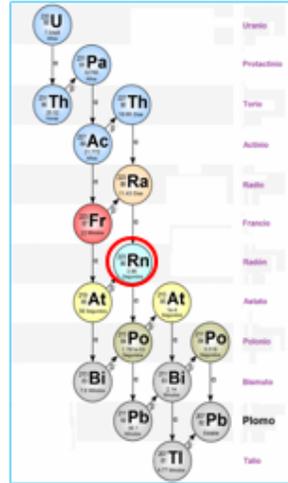
$t_{1/2} = 14\ 000$  millones de años



$t_{1/2} = 4\ 470$  millones de años



$t_{1/2} = 700$  millones de años



$t_{1/2} = 2$  millones de años



Fundamentos básicos de la energía nuclear

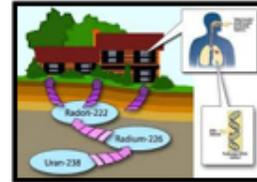
2024 <https://chemlin.org/isotope/neptunium-233>

## EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

El gas radón (Rn) es emitido por el radio (Ra), y se encuentra asociado con el uranio (U), originalmente en las rocas y también en los materiales de construcción. Si el radón se desintegra en la atmósfera, los isótopos radiactivos que resultan se adhieren a las partículas de polvo.

El radón tiene una vida media de 3,8 días, la mayoría del radón que se forma bajo la tierra se vuelve a descomponer y se convierte en sólido antes de que tenga ocasión de salir fuera de la superficie terrestre. Los isótopos del radón se descomponen en los siguientes emisores de tipo Gamma:

- Radio B (Pb, peso atómico: 214, vida media: 26.8 minutos)
- Radio C (Bi, peso atómico: 214, vida media: 19.7 minutos)
- Radio C (Po, peso atómico: 214, vida media:  $1.5 \times 10^{-4}$  segundos)
- Radio D (Pb, peso atómico: 210, vida media: 22 años)
- Radio E (Bi, peso atómico: 210, vida media: 5 días)



El Radón puede pasar al interior de la casa a través de grietas o aberturas en su sótano o cimientos, y alcanzar concentraciones peligrosas. El peligro es debido a que los productos de descomposición emitidos por el radón se adhieren a las partículas de polvo. Son altamente radiactivos y pueden alojarse dentro del cuerpo, cuando inhalamos polvo contaminado (progenie). Una vez alojados dentro del cuerpo pueden permanecer allí mucho tiempo (Radio D), sometiendo a las células que circundan las partículas a un bombardeo constante de radiación ionizante. Esto destruye y daña el tejido, desencadenando cáncer de pulmón.

Fundamentos básicos de la energía nuclear

2024

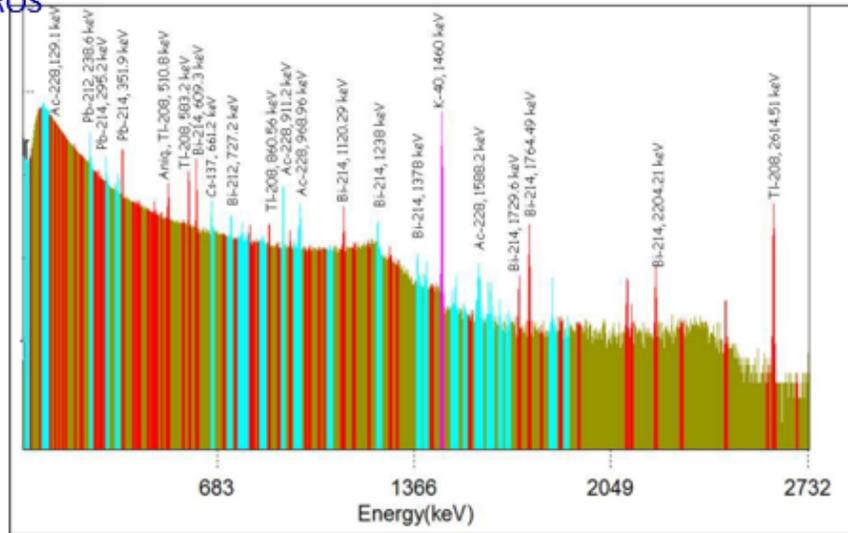
19

## ANÁLISIS DE ESPECTROS

**U-238:**

**Th-232:**

$^{208}\text{Tl}$  (583.187 y 860.56 keV) y  $^{228}\text{Ac}$  (911.196, 968.960 keV) para la serie del Torio;  $^{214}\text{Pb}$  (351.932 keV) y  $^{214}\text{Bi}$  (295.224, 609.312 keV) para la serie del Uranio



¿Cuáles son los materiales de referencia que se utilizarán para la radiometría ambiental en suelos?

## METODOLOGÍA

IAEA  
 International Atomic Energy Agency  
 Agency for Peace and Development

**Certified Reference Material  
 CERTIFICATE  
 IAEA-464  
 RADIONUCLIDES IN BROWN RICE**

**Certified values for activity concentration**  
 (based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [t] [years]	Remark <sup>c)</sup>
$^{40}\text{K}$	72.1	3.2	1.2504(30) × 10 <sup>9</sup>	
$^{137}\text{Cs}$	38.6	0.8	30.35(5)	

(a) Certified values are calculated from the accepted data sets, each being obtained by a different laboratory following ISO Guide 35 [2].  
 (b) The uncertainty is expressed as a combined standard uncertainty (coverage factor  $k = 1$ ) estimated in accordance with the JCGM 100:2008 [3] and ISO Guide 35 [2].

**Information values for activity concentration**  
 (based on dry mass)

Radionuclide	Information value <sup>a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [t] [years]	Remark <sup>c)</sup>
$^{137}\text{Cs}$	12.0	0.4	2.0644(14)	

IAEA  
 International Atomic Energy Agency  
 Agency for Peace and Development

**Certified Reference Material  
 CERTIFICATE  
 IAEA-479  
 RADIONUCLIDES IN MILK POWDER**

**Certified values for activity concentration**  
 (based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [t] [years]	Remark <sup>c)</sup>
$^{90}\text{Sr}$	41.2	1.0	28.80(7)	(N)
$^{137}\text{Ba}$	30.3	0.7	10.539(5)	
$^{137}\text{Cs}$	213.0	4.7	2.0644(14)	
$^{137}\text{Cs}$	228.6	5.0	30.35(5)	

(a) Certified values are calculated based on material balance following ISO Guide 35 [2].  
 (b) The uncertainty is expressed as a combined standard uncertainty (coverage factor  $k = 1$ ).  
 (c) The property values annotated (N) are not within the scope of accreditation.

**Information values for activity concentration**  
 (based on dry mass)

Radionuclide	Information value <sup>a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [t] [years]	Remark <sup>c)</sup>
$^{40}\text{K}$	378	15	1.2504(30) × 10 <sup>9</sup>	(N)

IAEA  
 International Atomic Energy Agency  
 Agency for Peace and Development

**Certified Reference Material  
 CERTIFICATE  
 IAEA-412  
 RADIONUCLIDES IN PACIFIC OCEAN SEDIMENT**

**Certified values for activity concentration**  
 (based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Expanded uncertainty <sup>b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [t] [years]	Remark <sup>c)</sup>
$^{40}\text{K}$	561	26	1.2504(30) × 10 <sup>9</sup>	
$^{137}\text{Cs}$	5.66	0.17	30.05(3)	
$^{210}\text{Pb}$	89.7	3.8	138.3763(17) days	(N)
$^{210}\text{Po}$	88.2	3.2	22.23(12) years	
$^{210}\text{Bi}$	27.4	1.0	1800(7) years	
$^{210}\text{Po}$	36.2	2.3	5.75(4) years	
$^{210}\text{Pb}$	36.3	1.1	1.9126(9) years	
$^{210}\text{Bi}$	36.3	3.5	14.02(8) × 10 <sup>9</sup> years	
$^{210}\text{U}$	1.38	0.05	704(1) × 10 <sup>9</sup> years	
$^{210}\text{U}$	31.2	1.7	4.468(5) × 10 <sup>9</sup> years	
$^{210}\text{Po}$	0.358	0.012	24100(11) years	(N)
$^{210}\text{Pb}$	0.240	0.011	656(17) years	(N)
$^{210}\text{Po}$	0.611	0.016	-	(N)

## Preguntas al azar (3)

1) Los núcleos inestables explican la presencia de radioactividad en un compuesto determinado, emitiendo diversas formas de partículas. Al respecto establezca la correspondencia y marque la secuencia correcta.

- a) Alfa
- b) Beta +
- c) Beta -
- d) Captura electrónica
- e) Radiación gamma

Rpta. dbcea

( ) Emite electrones con fotones de energías características a los saltos orbitales del átomo. No hay presencia de neutrino o antineutrino.

( ) Su número de masa se mantiene constante

( ) Su número atómico aumenta

( ) Representa por cuantos o paquetes de energía, forma parte del espectro electromagnético

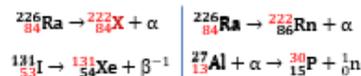
( ) Es el núcleo de un átomo de helio con energía cinética

2) Según el proceso de desintegración radiactiva indique verdadero o falso

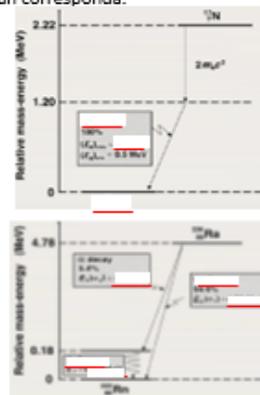
- a) El proceso de desintegración radiactiva es espontánea.
- b) Para el proceso de desintegración se conserva la energía cinética, el momentum lineal y la masa de las partículas
- c) En el decaimiento radiactivo, los átomos de la sustancia decaen respecto al tiempo.
- d) Los DPS son las cuentas que contabiliza un detector de radiación.
- e) La emisión más penetrante es la alfa

Rpta. VFVFF

3) De acuerdo a el proceso de reacciones nucleares, complete con un número los espacios en blanco:



4) Complete los espacios en blanco: Elemento, tipo de radiación o energía según corresponda.



IPEN: 2do Critico (16-09-2019 / 23:31 h)



PUCP: Curso de Montecarlo

# Muchas Gracias

- [victor.viera@pucp.edu.pe](mailto:victor.viera@pucp.edu.pe)
- [vviera@ipen.gob.pe](mailto:vviera@ipen.gob.pe)
- [vmvierac@unac.edu.pe](mailto:vmvierac@unac.edu.pe)

#### 4. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO AMBIENTAL

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 79352193, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=79352193>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.



Ingrese su Nombre

APELLIDO Y NOMBRE

INICIAR

Una vez empezado tiene **8 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**7935 2193**

2

1. Opción múltiple 45 segundos 4 puntos

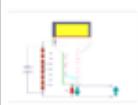


¿Que factor tiene mayor contribución en promedio de dosis de radiación anual?

opciones de respuesta

- Radón
- Radiación cósmica
- Médico
- Productos de desechos radiactivos
- Precipitaciones radiactivas

2. Opción múltiple 45 segundos 4 puntos



¿Qué tipo de radiación es la contribuye mayormente a la dosis ambiental?

opciones de respuesta

- Gamma
- Beta +
- Beta -
- Rayos X
- Alfa

3. Opción múltiple

1 minute 4 puntos



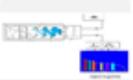
¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental?. (existe más de 1 respuesta)

opciones de respuesta

- Cadena del Torio-232
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Uranio-235

4. Opción múltiple

1 minute 4 puntos



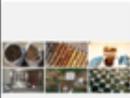
¿Qué tipo de detectores se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural?. (existe má de 1 respuesta)

opciones de respuesta

- Detector de INa
- Detector de He-3
- Detector de BF3
- Detector de GeHP
- Contador Geiger

5. Opción múltiple

1 minute 4 puntos



¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural?

opciones de respuesta

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s
- Actividad -> Bq
- Dosis absorbida -> Gray

#### 4. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO AMBIENTAL

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 99121639, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=99121639>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre

APELLIDO Y NOMBRE

INICIAR



Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:

**9912 1639**

7

1. Opción múltiple 30 segundos 4 puntos

 ¿Cuál es el radioisótopo natural que aparece y más abunda durante la medición por espectrometría gamma?

opciones de respuesta

Radón  Potasio

Radio  Torio

2. Opción múltiple 1 minute 4 puntos

 ¿Cual es el radionucleido de la cadena del U-238 que causa un daño severo al ser humano al ser incorporado?

opciones de respuesta

Radón, Rn-222  Radio, Ra-226

Talio, Tl-206  Mercurio, Hg-206

Radón, Rn-220

3. Opción múltiple

30 segundos 4 puntos



¿Qué detector tiene mayor resolución para determinar la radiactividad ambiental; y que tipo de radiación mediría este detector?

opciones de respuesta

- Detector GeHP / beta
- Detector INa / gamma
- Detector GeHP / gamma
- Detector He-3 / neutrones
- Detector INa / alfa

4. Opción múltiple

1 minute 4 puntos



¿Cuál es la energía del potasio-40 que se detecta por espectrometría gamma?

opciones de respuesta

- 1460 keV
- 1260 keV
- 460 keV
- 2460 keV
- 1400 keV

5. Opción múltiple

2 minutos 4 puntos



¿Cuáles son los materiales de referencias que se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos?, (Existe mas de 1 respuesta)

opciones de respuesta

- IAEA 412, Sedimento del océano pacífico
- IAEA 464, Arroz Integral
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- RGK 1, Sulfato de potasio
- IAEA 478, Suelo agrícola

- Quinta sesión del curso de Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear: Usos de la energía nuclear y su investigación eficiente

Universidad Nacional del Callao  
 Ciencia y Tecnología del Sur (CITEC)  
 Universidad Constituida Resolución N° 171-2019-GUBERNUCO

**CURSO - TALLER**  
**FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

GNM | UNAC  
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA NUCLEAR

**FCNM**  
**PREGRADO**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**

**UNAC**

**5. USOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR Y SU INVESTIGACIÓN EFICIENTE**

Mg. Víctor M. Viera Castillo  
 Mg. Ricardo Flores Camargo

Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

Universidad Nacional del Callao  
 Ciencia y Tecnología del Sur (CITEC)  
 Universidad Constituida Resolución N° 171-2019-GUBERNUCO

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FCNM  
 Centro de investigación de ciencia, tecnología e innovación

**USOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR Y SU INVESTIGACIÓN EFICIENTE**

Campos de aplicación de la energía nuclear. Energía. Minería. Medio ambiente. Alimentación. Salud. Educación. Industria. Cultura. Fundamentos y técnicas de los equipos utilizados. Investigación eficaz. Herramientas tecnológicas. Vigilancia tecnológica. Ruta tecnológica. Proyectos científicos. Proyectos colaborativos.

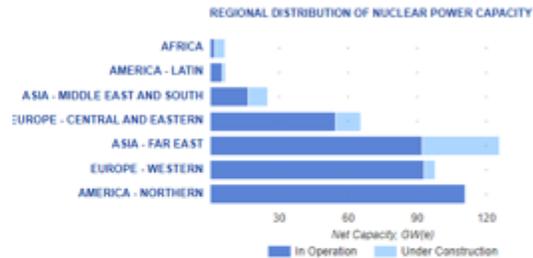
Fundamentos básicos de la energía nuclear

2024

2

## CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR - ENERGÍA

- Los reactores nucleares de potencia producen energía iniciando y controlando una reacción nuclear en cadena sostenida.
- Actualmente, **más de 400** reactores de este tipo en 30 países suministran alrededor del 11 % de la electricidad mundial.
- Se define un reactor nuclear como una instalación capaz de iniciar, mantener y controlar las **reacciones de fisión** en cadena que tiene lugar en el núcleo del reactor, compuesto por el **combustible** (Uranio), el refrigerante, los elementos de control, los materiales estructurales y el moderador en el caso de los reactores nucleares térmicos.



415 NUCLEAR POWER REACTORS IN OPERATION  
 373 735 MW TOTAL NET INSTALLED CAPACITY

25 NUCLEAR POWER REACTORS IN SUSPENDED OPERATION  
 21 272 MW TOTAL NET INSTALLED CAPACITY

61 NUCLEAR POWER REACTORS UNDER CONSTRUCTION  
 63 837 MW TOTAL NET INSTALLED CAPACITY

19 962 REACTOR-YEARS OF OPERATION



## CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR - INDUSTRIA

### Producción de radiofármacos

**Uso en Medicina:** Los radiofármacos son compuestos radiactivos que se utilizan en diagnósticos y tratamientos médicos, especialmente en medicina nuclear. Estos se producen en reactores nucleares o ciclotrones, y son fundamentales para técnicas de imagen como PET y SPECT, y para tratamientos como la terapia con yodo-131.

Una vez producidos, los radioisótopos se adhieren a ciertas moléculas en función de sus características biológicas, dando así lugar a los radiofármacos. Ejemplo: I-131, Tc-99m, F-18.

¿Te imaginas cómo sería el diagnóstico y tratamiento de enfermedades complejas con la precisión y efectividad que nos brindan los radiofármacos?



## CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR – ALIMENTACIÓN Y Agricultura

### Conservación de Alimentos .

Las radiaciones son utilizadas en muchos países para aumentar el período de conservación de muchos alimentos. Esta técnica de irradiación no genera efectos secundarios en la salud humana, siendo capaz de reducir en forma considerable el número de organismos y microorganismos patógenos presentes en variados alimentos de consumo masivo.



## INVESTIGACIÓN EFICAZ

Es un proceso sistemático y organizado que busca obtener conocimiento, resolver problemas o responder a preguntas específicas mediante la recopilación y análisis de datos relevantes

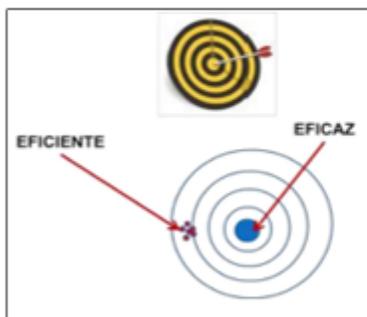


Fig. 1 Toda investigación eficaz siempre da en el blanco

Es necesario darse cuenta que no basta con hacer un buen trabajo (eficiente), sino que también dar en el blanco (ser eficaz). Así como la analogía en el deporte de tiro. Deporte por el cual es necesario dar en el blanco para tener mayor puntuación, por lo que es necesario que posea un buen equipo y mucho entrenamiento, pero antes debe de identificar el blanco (para el caso de investigación serian los objetivos)

1. Definición del problema – 2. Revisión de la literatura – 3. Metodología adecuada – 4. Recopilación de datos – 5. Análisis de datos – 6. Conclusiones y recomendaciones – 7. Presentación de resultados – 8. Ética en la investigación – 9. Evaluación y retroalimentación

## HERRAMIENTAS TECNOLOGICAS

Algunas herramientas tecnológicas mas utilizadas son:

- Motores de búsqueda académica (Google Scholar, Microsoft academic, scopus, Carrot2)
- Gestores de referencia (Zotero, Mendeley, EndNote), Softwares de análisis de datos (SPSS, RStudio)
- Herramientas de colaboración (Google Drive y Dropbox, Overleaf, Trello)
- Plataformas de encuestas y recolección de datos (Qualtrics, SurveyMonkey, Google forms)
- Herramienta de visualización de datos (Tableau, Powert IB, D3.js)
- Plataformas de difusión y publicación (ResearchGate, Academia.edu)
- Base de datos y repositorios de investigación (PubMed, IEEE Xplore, JSTOR, Scimago)



## PROYECTOS COLABORATIVOS



El OIEA, de conformidad con su mandato “Átomos para la paz y el desarrollo”, presta apoyo a los países en su labor para alcanzar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

- Numerosos países recurren a la ciencia y la tecnología nucleares para contribuir a sus objetivos de desarrollo y poder cumplirlos en ámbitos como la energía, la salud humana, la producción de alimentos, la gestión del agua y la protección del medio ambiente.
- El uso de estas técnicas contribuye de manera directa a 9 de los 17 ODS.

## PROYECTOS CIENTIFICOS



El Ciclo del Proyecto se define como un proceso compuesto por las siguientes cinco fases:

1. Identificación de problemas o necesidades regionales, nacional, interregional, definidos en el Perfil Estratégico Regional vigente.
2. Propuesta de concepto de proyecto.
3. Selección y aprobación de conceptos de proyectos.
4. Diseño de proyectos.
5. Ejecución y seguimiento.
6. Evaluación de los proyectos propuestos por ARCAL, REGIONAL, ARCAL, CRP, INT.



# Muchas Gracias



## 5. USOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR Y SU INVESTIGACIÓN EFICIENTE

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 78641638, también por el enlace <https://quizz.com/join?gc=79641638>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Samuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.



Ingrese su Nombre

APELLIDO Y NOMBRE

INICIAR

Una vez empezado tiene **8 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:

**7864 1638**

2

1. Opción múltiple 1 minuto 4 puntos

 ¿Cuál de las siguientes es una aplicación principal de un reactor nuclear de investigación?

opciones de respuesta

- Generación masiva de electricidad
- Producción de isótopos para medicina nuclear
- Fabricación de armas nucleares
- Desalinización de agua de mar
- Exploración espacial

2. Opción múltiple 1 minuto 4 puntos

 ¿En qué se diferencia un reactor nuclear de investigación (RNI) de una central nuclear?

opciones de respuesta

- No se diferencian
- La central nuclear esta diseñado para producir electricidad, mientras que el reactor de investigación no
- Existe solamente 1 reactor de investigación en el Perú
- El reactor de investigación esta diseñado para producir electricidad, mientras que la central nuclear no
- La central nuclear a lo mucho llega a 1 MW de potencia térmica

3. Opción múltiple

1 minuto 4 puntos



¿Cuáles son las partes de un artículo científico?. (existe más de 1 respuesta)

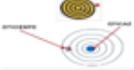
opciones de respuesta

- Resumen
- Introducción
- Materiales y métodos
- Resultados

4. Opción múltiple

2 minutos 4 puntos

¿Cómo dar al Internet en Internet?



¿Qué problemas afectarían a la investigación eficaz?. (existe mas de 1 respuesta)

opciones de respuesta

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido financiamiento
- Reducido número de investigadores especializados
- Reducida comunicación con la comunidad científica

5. Opción múltiple

30 segundos 4 puntos



¿Que es una IPI?

opciones de respuesta

- Instituto político de investigación
- Instituto público de investigación
- Investigación potencialmente incidente
- Investigación pública independiente

## 5. USOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR Y SU INVESTIGACIÓN EFICIENTE

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 92067004, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=92067004>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre

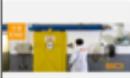
  


Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**9206 7004**

7

1. Opción múltiple 30 segundos 4 puntos

 ¿Cuál es una aplicación importante de la energía nuclear en la industria?

opciones de respuesta

- Desarrollo de vacunas
- Diagnóstico de enfermedades mediante resonancia magnética
- Radioterapia para tratar el cáncer
- Control de calidad mediante radiografía industrial

2. Opción múltiple 1 minuto 4 puntos

 ¿Cuál una aplicación principal de la energía nuclear en la salud?

opciones de respuesta

- Producción de biocombustibles
- Diagnóstico por imágenes médicas
- Elaboración de productos químicos
- Generación de residuos no radiactivos
- Producción de radiofármacos

3. Opción múltiple

30 segundos 4 puntos



¿Como se utiliza la energía nuclear en el campo de la alimentación?

opciones de respuesta

- Como fuente de energía principal para las universidades
- Minimizando las emisiones de dióxido de carbono
- Calefacción de edificios industriales
- Irradiando alimentos para eliminar patógenos y extender su vida útil
- En la enseñanza sobre física y tecnología nuclear

4. Opción múltiple

1 minuto 4 puntos



¿Qué significa I+D+i+D+T?

opciones de respuesta

- Innovación, desarrollo, invención, divulgación, transferencia de información
- Investigación, desarrollo, inicio, divulgación, transferencia de conocimiento
- Invención, desarrollo, innovación, difusión, transferencia de tecnología
- Innovación, desarrollo, investigación, divulgación, transferencia de información
- Investigación, desarrollo, innovación, difusión, transferencia de tecnología

5. Opción múltiple

Mejorar con IA

Editar



Marque las alternativas correctas sobre las siguientes herramientas de innovación: Vigilancia tecnológica y ruta tecnológica. (Existe mas de 1 respuesta)

opciones de respuesta

- La vigilancia tecnológica es un proceso organizado de captar información sobre ciencia y tecnología
- La vigilancia tecnológica es un proceso organizado de captar referencias sobre tecnología y teología
- La ruta tecnológica es una herramienta que ayuda lograr el bienestar frente a necesidades evaluando tecnologías disruptivas
- La ruta tecnológica es una herramienta que ayuda lograr el bienestar frente a objetivos evaluando tecnologías nucleares

## **Conclusiones**

El proyecto Fundamentos Básicos de la Energía Nuclear resultó ser un espacio enriquecedor para la comunidad académica de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, fortaleciendo la relación entre estudiantes y egresados. Las ponencias ofrecieron una visión diversa y actualizada de los avances en el campo de la física, motivando el interés por la investigación y el desarrollo científico.

# ANEXOS

- CLASES
- LISTA DE ALUMNOS
- NOTAS DE EXAMEN
- EXAMENES DE LOS ALUMNOS



**Universidad  
Nacional del Callao**

Ciencia y Tecnología del Tercer Milenio  
Universidad Licenciada, Resolución N° 171-2019-SUNEDU/CD

# CURSO - TALLER FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR



GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA MÉDICA

## 1. FUNDAMENTOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

Mg. Victor M. Viera Castillo

**FCNM  
PREGRADO**

**FACULTAD DE  
CIENCIAS  
NATURALES Y  
MATEMÁTICA**

**UNAC**

# FUNDAMENTOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

Modelos atómicos. Estructura atómica. Nomenclatura. Estabilidad nuclear. Radioisótopos en técnicas nucleares. Radiactividad. Actividad y ley de decaimiento radiactivo. Unidad de actividad. Semiperíodo y vida media. Radiaciones ionizantes. Tipo y características de las radiaciones: Radiación alfa, beta, gamma. Radiación neutrónica. Interacción de la radiación con la materia (X).Efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares. Reacciones nucleares. Interacción de neutrones con la materia.

# MÓDELOS ATÓMICOS

Representaciones gráficas de la estructura y funcionamiento de los átomos.

## M.A. de J.J. Thomsom:

Ganó el Premio Nobel de Física en 1906. Los átomos están compuestos por electrones de carga negativa en un átomo positivo, es decir, como si tuviéramos una bola cargada positivamente rellena de electrones (carga negativa)

## M.A. de E. Rutherford:

Ganó el Premio Nobel de Física en 1908. El núcleo atómico esta cargado positivamente (gran cantidad de masa) y una corteza donde los electrones (de carga negativa) giran a gran velocidad alrededor del núcleo.

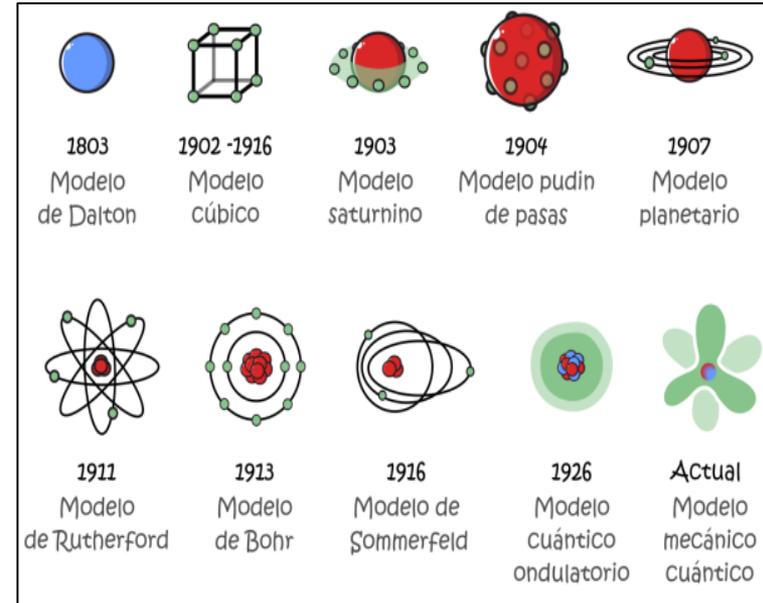
## M.A. de N. Bohr:

Ganó el Premio Nobel de Física en 1922. Introdujo la mecánica cuántica que explico como giraban los electrones alrededor del núcleo del átomo. Los electrones giran en orbitas circulares con nivel diferente de energía.

## M.A. de E. Schrödinger:

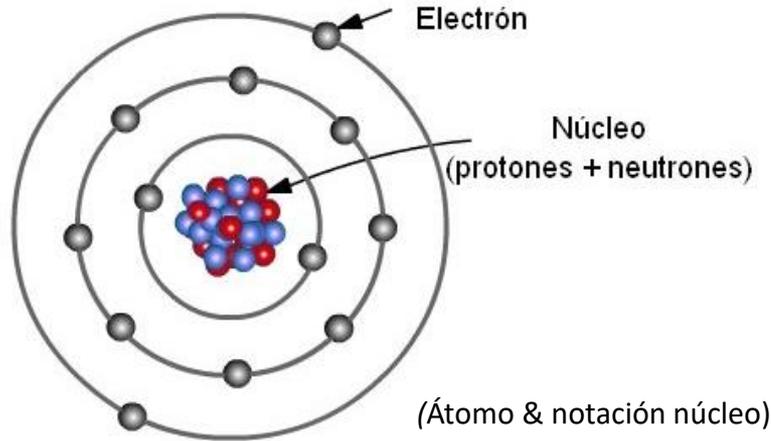
$$\left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right] \Psi = i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi$$

Ganó el Premio Nobel de Física en 1933. Describió la evolución del electrón alrededor del núcleo mediante ecuaciones matemáticas, pero no su posición.

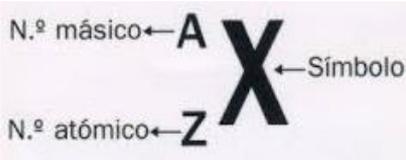


(Modelos atómicos)

# ESTRUCTURA ATÓMICA

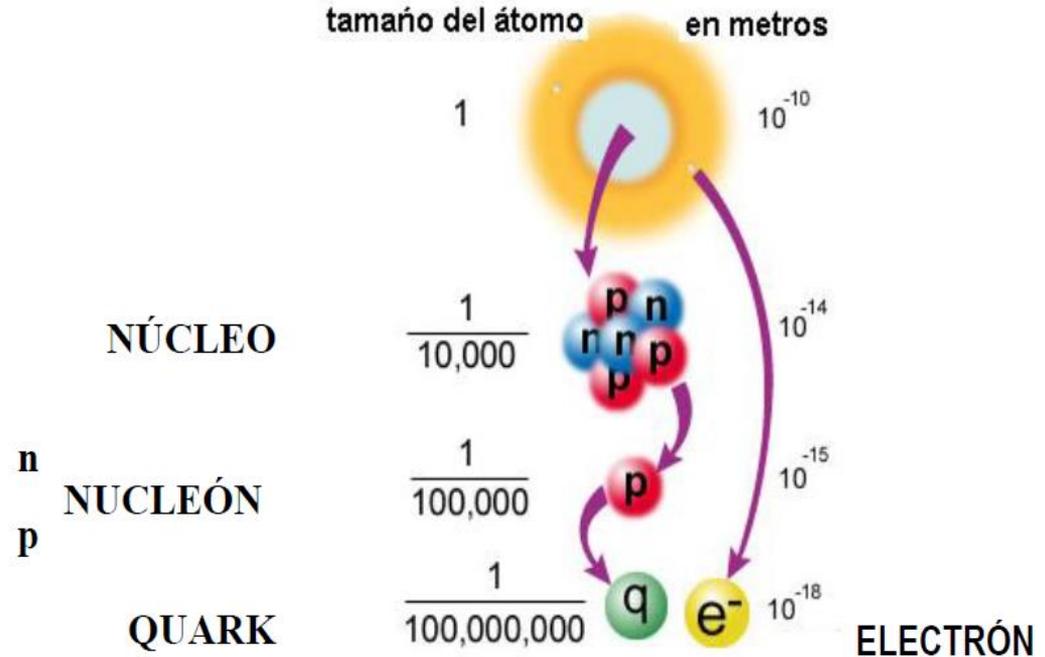


## Nomenclatura:



$A = Z + N^\circ \text{ neutrones}$   
 $Z = N^\circ \text{ protones}$

## Dimensiones y fuerzas relacionadas:



## Características del núcleo

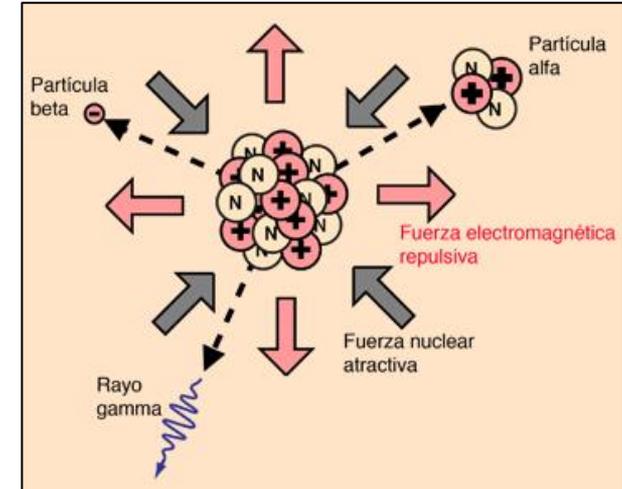
Partícula	Descubrimiento	Símbolo	Masa (u)	Carga (C)
<b>Protón</b>	Rutherford, 1919	${}^1_1p$	1,0073	$+1,6 \cdot 10^{-19}$
<b>Neutrón</b>	Chadwick, 1932	${}^1_0n$	1,0086	0

<b>Partículas</b>	<b>Nucleones</b> (protones y neutrones)
<b>Tamaño</b>	$10^{-15}$ m
<b>Densidad</b>	$1,5 \cdot 10^{18}$ Kg/m <sup>3</sup>
<b>N° atómico(Z)</b>	N° de protones. Identifica al elemento.
<b>N° másico(A)</b>	Protones + neutrones. Indica la masa aproximada.

<b>Isótopos</b>	$=Z, \neq A$ . Del mismo elemento con $\neq$ masa.
<b>Isóbaros</b>	$\neq Z, =A$ . Distinto elemento con $=$ masa.
<b>Isótonos</b>	Igual número de neutrones.
<b>Isómeros</b>	$=Z, =A$ . Distinta distribución y por tanto $\neq$ energía.

## Fuerza nuclear fuerte:

Propuesta por Hideki Yukawa (1934), ganó el premio nobel de Física en 1949, menciona que existe una fuerza que hace que los protones puedan permanecer unidos dentro de un núcleo y que se opone a la fuerza de repulsión características electrostática.



(Dualidad fuerza nuclear vs fuerza electromagnética)

# Preguntas al azar (1)

1) Los modelos atómicos trataron de explicar, en su momento, la estructura de átomo, estos fueron evolucionando hasta llegar al modelo actual. Al respecto establezca la correspondencia y marque la secuencia correcta.

- a) Thomsom
- b) Rutherford
- c) Bohr
- d) Modelo actual

**Rpta. cdba**

( ) Considera niveles donde los electrones se encuentran girando en forma concéntrica de acuerdo a su energía.

( ) Introduce el concepto de orbital o máxima probabilidad

( ) El átomo esta formado por un núcleo pequeño y una envoltura electrónica de gran volumen.

( ) Electrones y protones se encuentran en una estado neutro y de masa uniforme.

Fundamentos básicos de la energía nuclear

2) Indique la secuencia correcta de verdad (V) o falsedad (F) con respecto a los isótopos.

- a) Tienen diferentes números de neutrones
- b) Tienen diferentes números de protones
- c) Tienen distintos números de masa.
- d) Presentan el mismo número atómico (Z).

**Rpta. VFVV**

3) Respecto a la estructura fundamental del átomo, determine la secuencia de verdad (V) o falsedad (F) de los siguientes enunciados.

- a) El neutrón y el protón se encuentran en el núcleo.
- b) El protón y el electrón tienen la misma masa
- c) La fuerza que mantiene unida al protón y al neutrón es la fuerza nuclear fuerte.
- d) A una distancia de  $10^{-15}$  m es mas frecuente la fuerza electromagnética
- e) El tiene  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  tiene 26 protones, 26 electrones y 30 neutrones y si gana 2 protones forma de ion  ${}^{56}_{26}\text{Fe}^{+2}$

**Rpta. VFVFF**

4) Respecto a la notación del núcleo, responda la verdad (V) o falsedad (F)

- a) Por definición, el numero atómico es igual al numero de electrones.
- b) El numero másico corresponde a los  $n^0 + p^+$
- c) A los elementos donde su numero atómico “Z” se les denomina isobaros.
- d) La ecuación correcta es:  $A=Z-N$

**Rpta. FVFF**

5) Complete:



X (nombre) = **Uranio natural**

# Preguntas al azar (1)

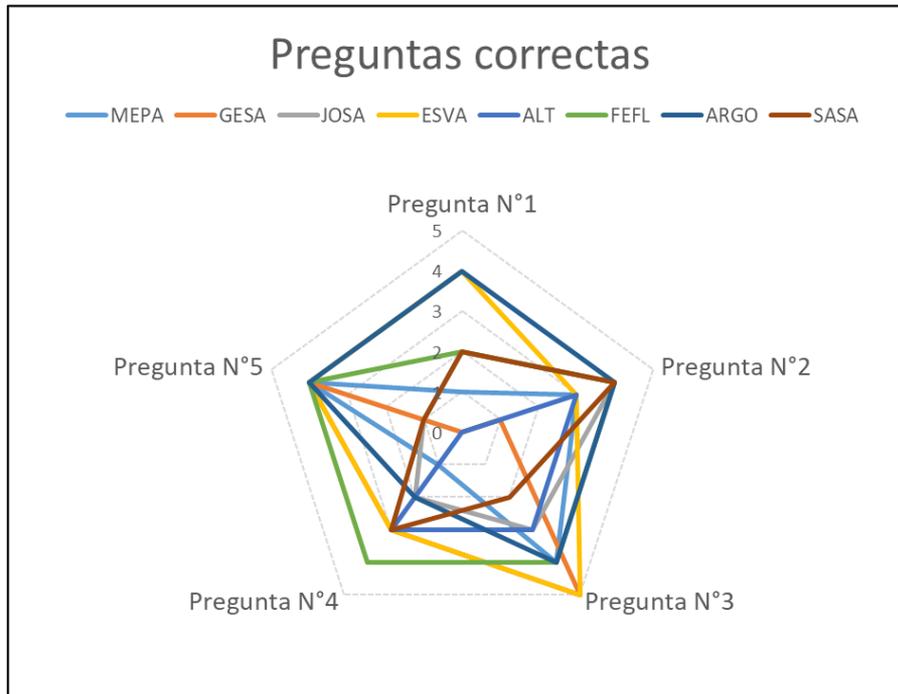
Resultados: Número de encuestados 8 tomado en un tiempo de 10 minutos aprox.

	Pregunta N°1	Pregunta N°2	Pregunta N°3	Pregunta N°4	Pregunta N°5	
MEPA	1	3	4	1	4	13
GESA	0	1	5	3	4	13
JOSA	2	4	3	2	1	12
ESVA	4	3	5	3	4	19
ALT	0	3	3	3	0	9
FEFL	2	4	4	4	4	18
ARGO	4	4	4	2	4	18
SASA	2	4	2	3	1	12

<b>Pregunta N°1</b>	Modelos atómicos
<b>Pregunta N°2</b>	Características del núcleo
<b>Pregunta N°3</b>	Estructura del átomo
<b>Pregunta N°4</b>	Notación del núcleo
<b>Pregunta N°5</b>	Notación del núcleo

# Preguntas al azar (1)

Resultados: Número de encuestados 8 tomado en un tiempo de 10 minutos aprox.



<b>Pregunta N°1</b>	Modelos atómicos
<b>Pregunta N°2</b>	Características del núcleo
<b>Pregunta N°3</b>	Estructura del átomo
<b>Pregunta N°4</b>	Notación del núcleo
<b>Pregunta N°5</b>	Notación del núcleo

Es necesario reforzar con ejercicios dinámicos o interactivos para el tema de modelos atómicos. La estructura del átomo como características del núcleo esta buen cristalizado en la mayoría. Es necesario seguir complementando la notación del nucleo.

## Estabilidad nuclear

Un núcleo es estable si su energía es menor que la energía de las partículas por separado. Es decir, si al formarse, ha desprendido energía. Para romper el núcleo será necesaria dicha energía

### Equivalencia masa - energía:

$$E = mc^2$$

En una reacción nuclear no se conserva la masa, sino la energía.

### Defecto de masa:

Diferencia entre la suma de las masas de cada una de los nucleones que lo forman (masa teórica) y la masa de un núcleo.

$$\Delta m = m_{teórica} - m_{real}$$

$$\Delta m = \sum m_i - m_{real} = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{real}$$

### Energía de enlace:

Cantidad de energía desprendida en la formación de un núcleo debido a la pérdida de masa del proceso.

$$E_e = |\Delta m \cdot c^2|$$

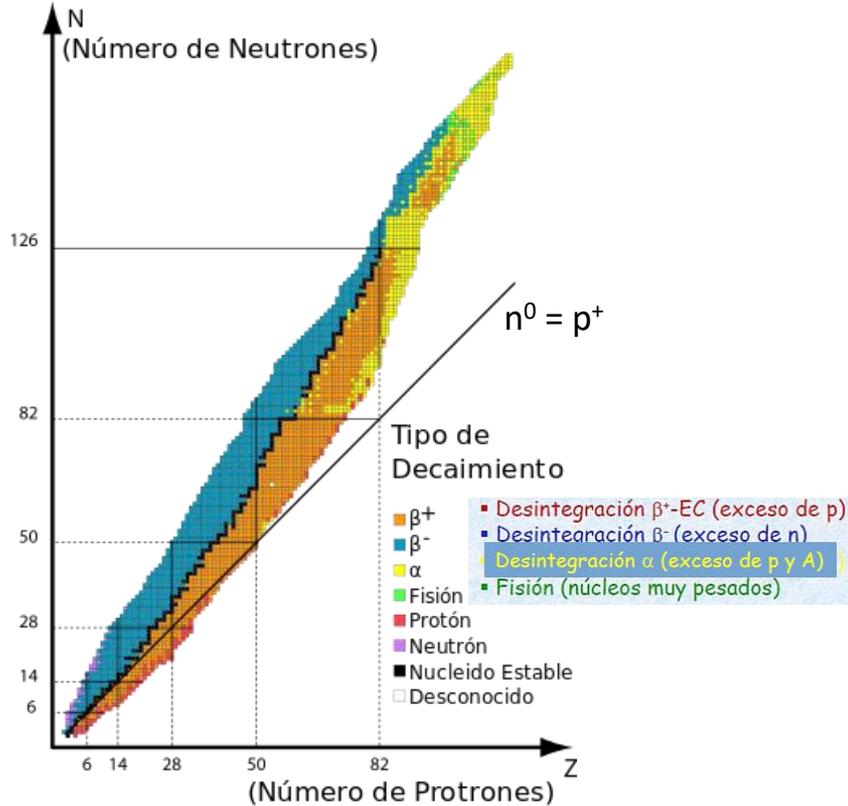
Coincide pues con la cantidad de energía necesaria para descomponer un núcleo en sus partículas

### Energía por nucleón:

Energía de enlace promedio por nucleón. A mayor valor, mayor estabilidad del núcleo.

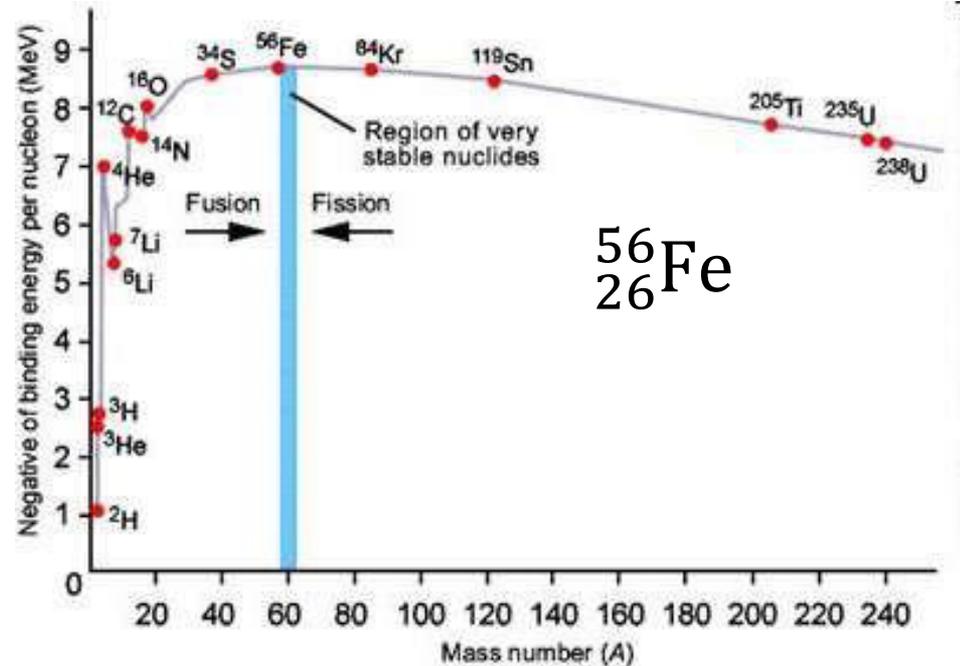
$$E_n = \frac{E_e}{A}$$

# Estabilidad nuclear



## Consecuencias:

- La unión de dos núcleos ligeros (fusión), desprenderá energía.
- La ruptura de un núcleo pesado (fisión) también **desprenderá energía**.



(Energía de enlace por nucleón vs numero de masa)

# Estabilidad nuclear

## Ejercicios:

1) Calcule el defecto de masa y la energía total de enlace de isótopo  $^{15}_7\text{N}$ , si su masa atómica es 15.0001089 u. Calcule la energía de enlace por nucleón

Datos:

Masa del protón:  $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Masa del neutrón:  $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Unidad de masa atómica:  $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Velocidad de la luz en el vacío:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

2) ¿Cuál es la energía equivalente a 1 u (unidad de masa atómica) expresada en MeV?

Datos:

$1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ [kg]}$ ;  $c = 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$ ;  $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ [J]}$

La unidad de masa atómica, u, o Dalton, Da, se define como la doceava (1/12) parte de la masa de un átomo de C-12.

$$E = mc^2 = (1,66 \times 10^{-27}) \cdot (3 \times 10^8)^2 = 1,49 \times 10^{-10} \text{ [J]} = 1,49 \times 10^{-10} \text{ [J]} / (1,6 \times 10^{-19} \text{ [J/eV]}) = 9,31 \times 10^8 \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

3) El tritio es un isótopo del hidrógeno de masa atómica igual a 3,016 u. Su núcleo está formado por un protón y dos neutrones. Calcule el defecto de masa y la energía de enlace por nucleón.

Datos:

Masa del protón:  $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Masa del neutrón:  $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Valor absoluto de la carga del electrón:  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Unidad de masa atómica:  $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Velocidad de la luz en el vacío:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

4) Porque el tritio ( $^3_1\text{H}$ ) es mas estable que el helio ( $^3_2\text{He}$ )

Datos:

Masa del núcleo de He-3= 3,016029 u

Masa del núcleo de tritio: = 3,016049 u

Masa del protón:  $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Masa del neutrón:  $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Unidad de masa atómica:  $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Velocidad de la luz en el vacío:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

5) Calcule la energía de enlace por nucleón del  $^{55}_{25}\text{Mn}$ , si su masa atómica es 54.9517 u. (reto):

Datos:

Masa del protón:  $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Masa del neutrón:  $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Unidad de masa atómica:  $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Velocidad de la luz en el vacío:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

# Estabilidad nuclear

## Ejercicios 1 (solución):

El defecto de masa es la diferencia entre la masa total de los nucleones desunidos y la masa del núcleo; está última coincide con la masa atómica. Este núcleo de nitrógeno tiene:

$${}^{15}_{7}\text{N} \quad A - Z = 15 - 7 = 8 \text{ neutrones}$$

$$Z = 7 \text{ protones}$$

$$\Delta m({}^{15}_{7}\text{N}) = (8m_n + 7m_p - m({}^{15}_{7}\text{N}))$$

$$\Delta m({}^{15}_{7}\text{N}) = 8 \times (1.008665) + 7 \times (1.007276) - 15.0001089$$

$$\Delta m({}^{15}_{7}\text{N}) = 0.120147 \text{ u} = 1.99 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

La energía nuclear total de enlace se corresponde con este defecto másico, según la relación de Einstein ( $E=mc^2$ ), vale

$$E({}^{15}_{7}\text{N}) = \Delta m c^2 = 1.99 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2 = 1.79 \times 10^{-11} \text{ J}$$

La energía de enlace por nucleón es:

$$\frac{E}{{}^{15}_{7}\text{N}} = \frac{1.79 \times 10^{-11}}{15} = 1.20 \times 10^{-12} \text{ J}$$

## Ejercicios 2 (solución):

\* ¿Cuál es la energía equivalente a 1 u (unidad de masa atómica) expresada en MeV?

$$E = mc^2 = (1,66 \times 10^{-27}) \cdot (3 \times 10^8)^2 = 1,49 \times 10^{-10} \text{ [J]}$$

$$E = 1,49 \times 10^{-10} \text{ [J]} / (1,6 \times 10^{-19} \text{ [J/eV]})$$

$$E = 9,31 \times 10^8 \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

## Ejercicios 3 (solución):

El núcleo de hidrógeno tiene:

$${}^3_1\text{H} \quad A - Z = 3 - 1 = 2 \text{ neutrones}$$

$$Z = 1 \text{ protón}$$

$$\Delta m({}^3_1\text{H}) = (2m_n + 1m_p - m({}^3_1\text{H}))$$

$$\Delta m = 2 \times (1.0087) + 1.0073 - 3.016$$

$$\Delta m = 0.009 \text{ u} = 1.45 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

La energía de enlace por nucleón es:

$$\frac{E}{{}^3_1\text{H}} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A} = \frac{1.45 \times 10^{-29} \times (3 \times 10^8)^2}{3} = 4.36 \times 10^{-11} \text{ J}$$

# Estabilidad nuclear

## Ejercicios 3 (solución):

Recordar que un electronvoltio (1eV) es la energía cinética que adquiere un electrón, inicialmente en reposo, acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio, por lo que tendríamos lo siguiente.:

$$1 \text{ eV} = |e \cdot V|. \quad 1V = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}; \quad 1\text{MeV} = 10^6\text{eV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Pro consiguiente, la energía media de enlace por nucleón para el tritio vale:

$$\frac{E}{A}({}^3_1\text{H}) = 4.36 \times 10^{-1} \text{ J} \times \frac{1\text{eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 2.72 \text{ MeV}$$

## Ejercicios 4 (solución):

Ambos núcleos constan de 3 nucleones, pero su composición es diferente:



$$A - Z = 3 - 1 = 2 \text{ neutrones}$$

$$Z = 1 \text{ protón}$$



$$Z = 2 \text{ protón}$$

Para el tritio (H-3), su defecto de masa: diferencia de masa entre los nucleones desunidos y el núcleo, vale:

$$\Delta m({}^3_1\text{H}) = 2x(1.008665) + 1.007276 - 3.016049 = 0.008557 \text{ u}$$

Análogamente, para el helio (He-3) su defecto de masa es:

$$\Delta m({}^3_2\text{He}) = 2x(1.008665) + 1.007276 - 3.016029 = 0.007188 \text{ u}$$

Al ser el defecto de masa del tritio mayor que el del helio, la energía de enlace es superior en el tritio que en el helio, por lo que el tritio es más estable.

## Ejercicios 5 (reto):



$$A - Z = 55 - 25 = 30 \text{ neutrones}$$

$$Z = 25 \text{ protones}$$

$$\Delta m({}^{55}_{25}\text{Mn}) = (30m_n + 25m_p - m({}^{55}_{25}\text{Mn}))$$

$$\Delta m({}^{15}_7\text{N}) = 30x(1.008665) + 25x(1.007276) - 54.9517$$

$$\Delta m({}^{15}_7\text{N}) = 0.49015 \text{ u} = 8.14x10^{-28} \text{ kg}$$

La energía nuclear total de enlace se corresponde con este defecto másico, según la relación de Einstein ( $E=mc^2$ ), vale

$$E({}^{15}_7\text{N}) = \Delta mc^2 = 8.14x10^{-28}x(3x10^8)^2 = 7.32 \times 10^{-11} \text{ J}$$

La energía de enlace por nucleón es:

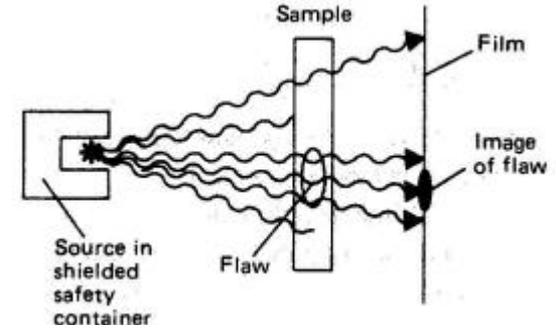
$$\frac{E}{A}({}^{15}_7\text{N}) = \frac{7.32 \times 10^{-11}}{55} = 1.33 \times 10^{-12} \text{ J}$$

# Radioisótopos en técnicas nucleares :

## Técnicas radiográficas:

Control de calidad de soldaduras (tuberías, calderas, tanques de almacena- miento, plantas de proceso, etc.)

Control de calidad de piezas fundidas (válvulas, componentes de motores, etc.) Inspección de equipajes y paquetes.



RX	< 8 Mv	140 – 300 KVp	60 – 140 KVp
<b>Fuentes <math>\gamma</math></b>	<b>Co – 60</b>	<b>Ir – 192</b>	<b>Tm – 170</b>
Tipico	100 GBq	~ decenas GBq a 1 TBq	
Hasta	100 TBq	10 TBq	1TBq
Materiales		Espesores	
Acero	50 – 150mm	10- 60mm	2.5- 12.5 mm
Aleaciones ligeras	150- 450mm	40- 190mm	7.5 – 37mm
Otros	40- 120 g cm <sup>-2</sup>	10 - 50 g cm <sup>-2</sup>	2 - 10 g cm <sup>-2</sup>

# Radioisótopos en técnicas nucleares :

## Análisis por activación neutrónica:

Análisis de elementos trazas en ppm hasta ppb

Análisis de contaminación

Medición del contenido de Si, Cr y Al en el análisis de minerales

Medición del contenido de Oxígeno en Acero para control de producción

Análisis en perforaciones

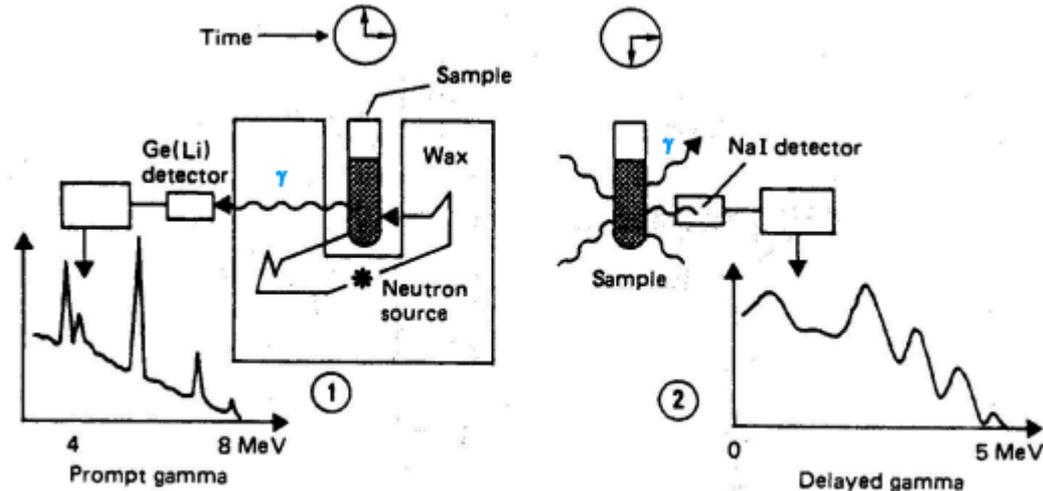
Fuentes típicas :

Am241 -Be (1 – 100Ci)

Cf252 (1- 100ug)

Generadores de neutrones (14Mev)

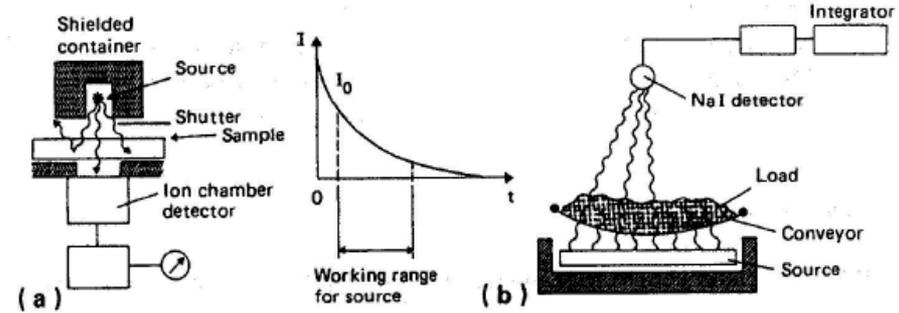
Reactores Nucleare



# Radioisótopos en técnicas nucleares

## Medidores por transmisión beta:

- Medición de espesor en plásticos, papel, láminas metálicas delgadas, textiles, etc.
- Determinación del contenido de tabaco en cigarrillos.
- Mediciones de los niveles de contaminación y de polvo en muestras de filtros de papel.



## Medidores por transmisión de fotones:

- Medición del espesor de laminas metálicas, vidrio, plásticos, neopreno y en general espesores que son muy largos para los medidores beta.
- Monitoreo de flujo de materiales en cintas transportadoras y tuberías.
- Mediciones de densidad ósea para el diagnóstico de osteoporosis.

### Fuente de radiación

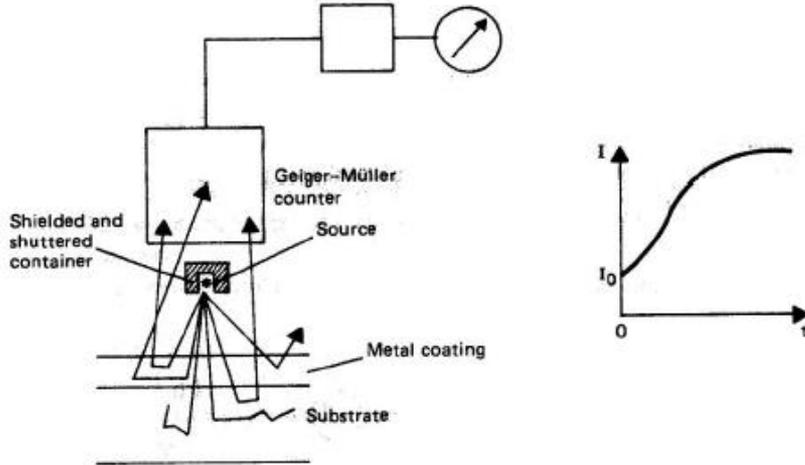
Pm-147  
 Kr-85  
 Tl-204  
 Sr/ Y-90  
 RX de voltaje promedio  
 Am-241  
 Cs-137

### Rango de medición útil

1- 15 mg.cm<sup>-2</sup>  
 5-100 mg.cm<sup>-2</sup>  
 7- 150 mg.cm<sup>-2</sup>  
 25-500 mg.cm<sup>-2</sup>  
 < 20mm de Acero  
 < 10mm de Acero  
 < 100mm de Acero  
 Am-241 (100mCi) Vidrio 1-10 mm  
 Plástico 1-30 mm  
 Cs-137 (50 mCi) Vidrios > 20 mm  
 Pu-238 (25 mCi)  
 Am-241 (100mCi) Cenizas en carbono > 2- 45%

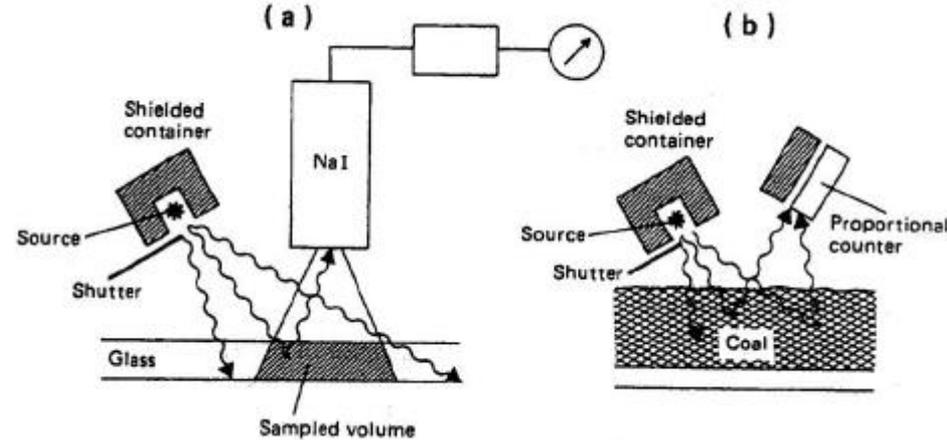
# Radioisótopos en técnicas nucleares:

## Medidores por transmisión beta:



La intensidad de radiación retrodispersada da una medida del espesor y/o el Z de la muestra. Los isótopos más usados son Pr147, Kr85, Tl204, Sr90 / Y90 con actividades 1-5mCi.

## Medidores por transmisión de fotones:



Se usa para la medición de sustancias de  $\downarrow Z$  para los cuales las mediciones por transmisión no son suficientemente sensitivas.

# Radioisótopos en técnicas nucleares :

## Teleterapia:

Los rayos gamma, X ó electrones son cuidadosamente dirigidos hacia el tumor, utilizando técnicas de multihazes. La concentración del haz en el lugar donde se encuentra el tumor no solo causa la muerte de este, sino también la de una porción de tejido sano que le rodea.

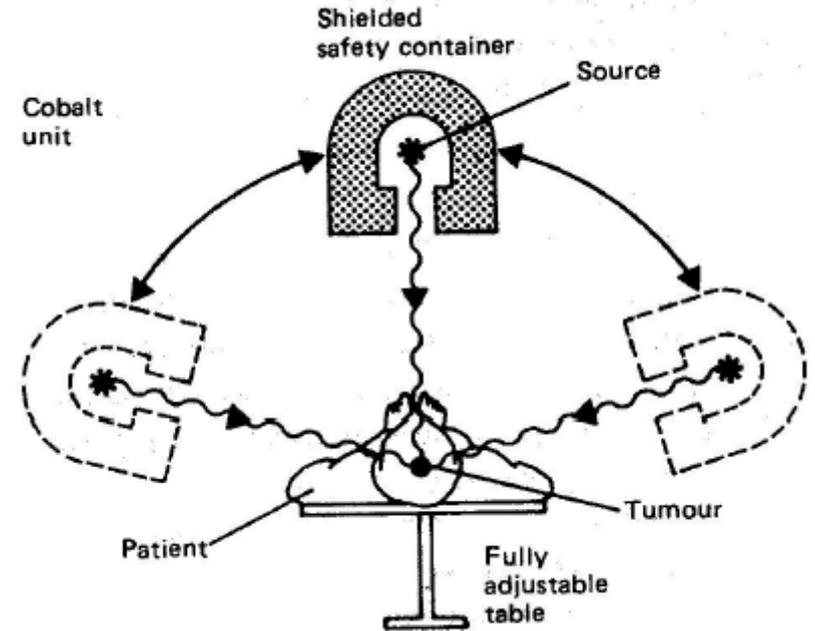
## Usos típicos:

- Tratamiento de varios tipos de canceres, desde cáncer de piel hasta tumores profundos

Co-60 (2.5 – 12.5 kCi) / Cs 137 (1.25 – 2.5 kCi)

Aceleradores de electrones produciendo haces de electrones ó rayos X en el rango de 4 –40 Mev

Rayos X en el rango de 20 kVp – 250 kVp



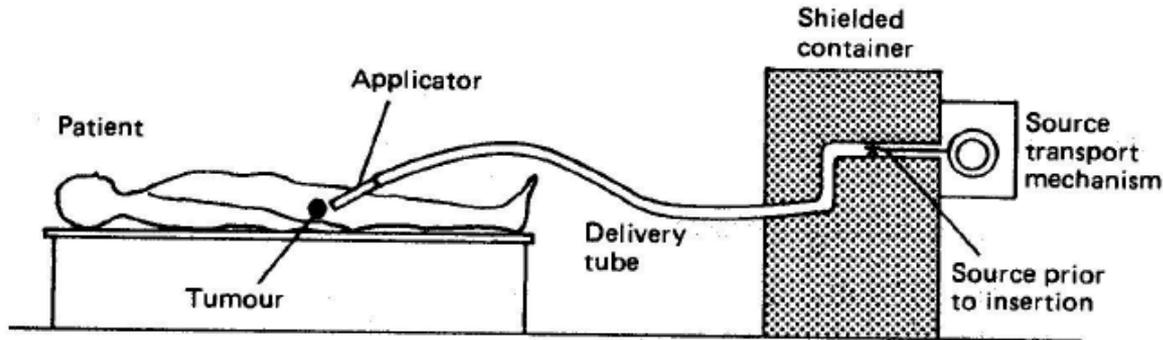
## Radioisótopos en técnicas nucleares :

### Braquiterapia:

En esta técnica la fuente de radiación esta virtualmente en contacto directo con el tumor, bien sea internamente o externamente, de manera tal de minimizar la irradiación del tejido sano.

### Fuentes típicas:

Co-60 y Cs 137 han reemplazado ampliamente a las fuentes de Ra 226 usadas por muchos años. Estas fuentes están disponibles en la forma de agujas para tratamiento intersticial ó de tubos para técnicas intracavitarias. Las agujas típicamente contienen 1-10 mCi de Cs 137. El Au- 198 es usado para implantes intersticiales con actividades de hasta 2 GBq.



## Radioisótopos en técnicas nucleares :

### Radioesterilización:

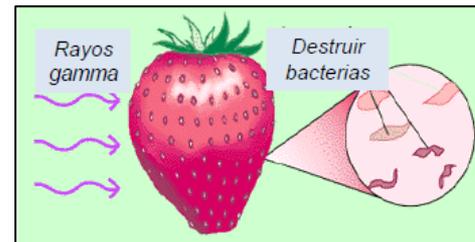
- Eliminar ó inactivar virus o bacterias (esterilización)
- Modificar propiedades de polimeros por inducción de enlaces químicos entre macromoléculas (cross-linking)
- Iniciar la polimerización para recubrimientos especiales (curado)
- Activar superficies para inducir injertos (grafting)

### Fuentes típicas:

Co-60 hasta 400 PBq y Cs 137 hasta 600 PBq para técnicas de esterilización Haces electrónicos de alta energía hasta 10Mev provenientes de aceleradores para producir cross linking Electrones de baja energía 0.15 a 0.30 Mev para curado e injertos

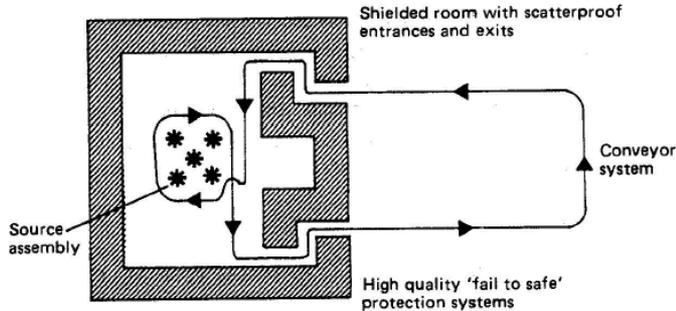
### Usos típicos:

- Esterilización de productos médicos tales como : jeringas, vendas, etc. con dosis  $> 35$  kGy
- Mejora de las propiedades del aislamiento en conductores eléctricos para su empleo a altas temperaturas
- Producción de materiales encogibles con el calor para empaque
- Radiación cross linking para caucho no vulcanizado
- Producción de compuestos de plástico-madera para mejorar las propiedades mecánicas
- Curado de tintas y adhesivos sobre papel, metales, madera y plásticos
- Recubrimiento o laminado de papel o film
- Curado de recubrimientos magnéticos en cintas de video y audio



## Radioisótopos en técnicas nucleares : Irradiación de alimentos:

La irradiación directa puede ser usada para proteger los alimentos contra la infestación de insectos, los daños por organismos y retrasar la aparición del proceso natural de maduración y brote. El símbolo característico es la radura



Fuentes de radiación  $\gamma$  Co-60 ó Cs-137 hasta 400 PBq  
 Haces electrónicos de hasta 10MeV  
 Rayos X de hasta 5MeV

## Usos típicos:

### Irradiación hasta 1 kGy

- Inhibición de brotes
- Desinfestación de insectos en una variedad de cosechas
- Retrazo de la maduración, particularmente en fruta

### Irradiación de 1 hasta 10 kGy

- Extensión de la vida útil, particularmente en carnes
- Reducción de la carga microbiana en una variedad de alimentos



## Radioisótopos en técnicas nucleares :

### Radiotrazadores:

Se marca una parte del sistema, el que puede ser un proceso industrial ó una función biológica, y luego se emplean detectores sensibles para seguir la traza del elemento marcado a través del sistema y llevar a cabo el análisis correspondiente.

### Requisitos de un radiotrazador:

- Se debe comportar de la misma manera que el material bajo estudio
- Debe ser fácil y unívocamente detectable a bajas concentraciones
- La inyección, la detección y el muestreo deben realizarse sin perturbar el sistema
- La concentración residual del trazador no debería ser la causa para desechar el sistema

### Usos típicos:

#### Ventilación

- Tasas de flujo
- Eficiencia de filtrado

#### Mezclado

- En fluidos, polvos y gases

#### Desgaste

- Tasa de desgaste de máquinas
- Corrosión en plantas de proceso

### Flujo

- Velocidad en tuberías
- Transporte de materiales
- Cambio de fase

### Pérdidas

- En plantas de proceso
- En tuberías subterráneas
- Ensayos de tuberías para llenado de gas

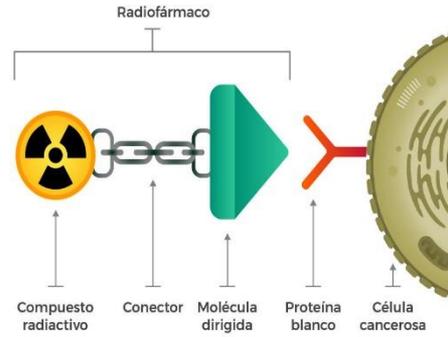


$^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{24}\text{Ra}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{45}\text{Cd}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{68}\text{Ga}$ ,  $^{76}\text{As}$ ,  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  
 $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{198}\text{Au}$  y  $^{203}\text{Hg}$

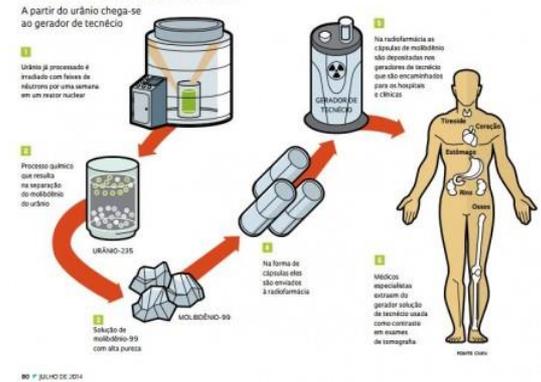
## Radioisótopos en técnicas nucleares :

### Radiofármacos:

Esta técnica hace posible estudios de funcionamiento de diferentes procesos orgánicos. Estos estudios se pueden realizar *in vivo* a través de la administración de radiofármacos y la subsecuente examinación del paciente usando una cámara gamma, ó *in vitro* tomando la respectiva muestra y usando Radiotrazadores para su posterior análisis (e.g. radioinmunoanálisis) En los estudios *in vivo* el radionúclido más utilizado es el  $^{99m}\text{Tc}$  por su pequeña  $T_{1/2}$  (6h), por su fácil incorporación y por sus propiedades físicas y químicas Por otro lado en los estudios *in vitro* los radionúclidos más usados son  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{125}\text{I}$



### Caminho do radiofármaco



**AMD:** Centellografía ósea, detección de tumores óseos primitivos

**DMSA :** Centellografía de morfología renal  
**DTPA:** Centellografía renal, Centellografía cerebral y visualización de la perfusión renal

**RENTEC:** Estudio de la función renal y estimación simultanea de la fase de perfusión.

**MIOTEC:** Estudios del sistema cardiovascular. Imágenes cardiacas

**PPI 40 mg/vial:** Centellografía ósea, estudios de infarto agudo de miocardio

**LINFOTEC 50 mg:** Obtención de imágenes del sistema linfático, diagnóstico de linfodema y compromiso ganglionar linfático

# RADIATIVIDAD

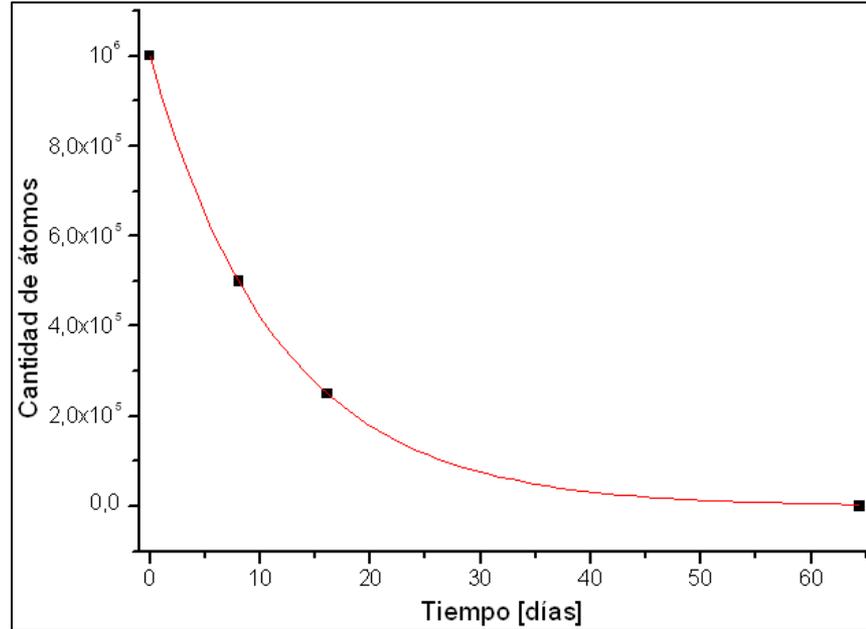
Ley de decaimiento radiactivo:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$\lambda$ : Constante de desintegración.  
Probabilidad por unidad de tiempo de que un núcleo cualquiera se desintegre.

$N_0$ : Número de átomos de un radionúclido en el instante  $t=0$

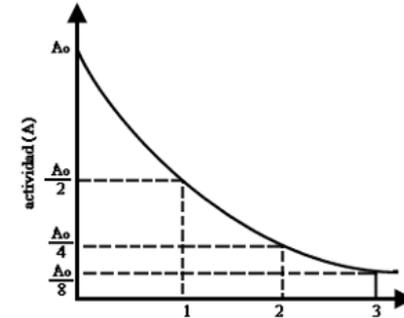
$N$ : Número de átomos de un radionúclido en el instante  $t$



Decaimiento Exponencial del  $^{131}\text{I}$

Actividad:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$



**Unidades:**

1Curie (Ci) =  $3.7 \times 10^{10}$   
desintegraciones/segundo

1Becquerel (Bq) = 1  
desintegración/segundo

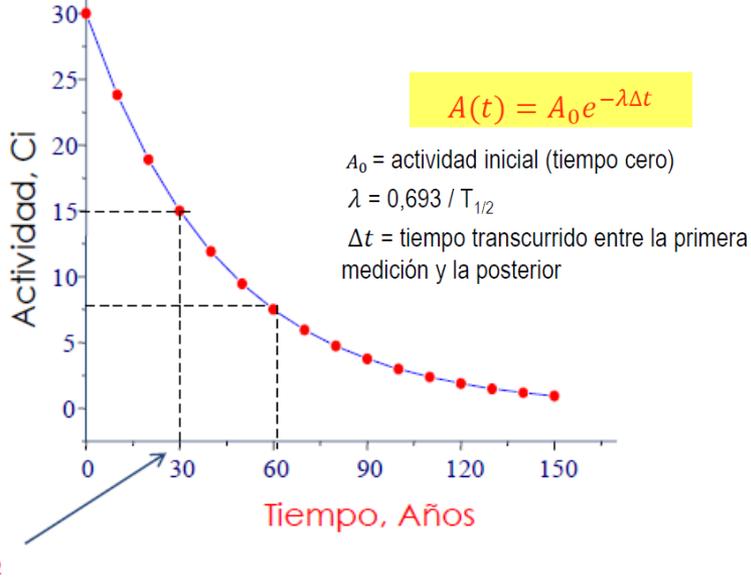
1Curie (Ci) =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq

# RADIATIVIDAD

## Desintegración radiactiva:

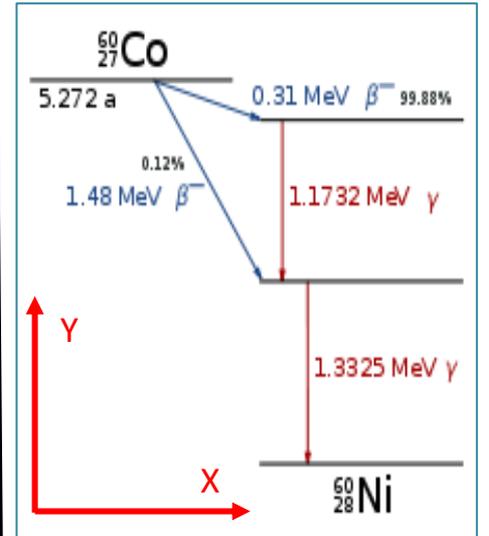
### Periodo de semidesintegración:

Tiempo requerido para que la muestra radioactiva pierda 50 % de su actividad por decaimiento. Cada radionúcleido tiene su semivida característica.



## Esquema de desintegración:

Es una representación gráfica de todas las transiciones que ocurren durante su decaimiento, y de sus interrelaciones. Es una representación en un sistema de coordenadas, donde el eje de ordenadas representa la energía, y las abscisas el número atómico.



(Desintegración del Co-60)

- Las flechas indican el tipo de partícula emitida.
- Para el decaimiento  $\gamma$ , flechas verticales y se indica la energía de los fotones  $\gamma$
- Para la desintegración  $\beta^-$ , flechas oblicuas que van de izquierda a derecha, y la energía máxima que puede adquirir la partícula  $\beta^-$ .
- Para el decaimiento  $\beta^+$  y para la desintegración  $\alpha$ , flechas oblicuas que van de derecha a izquierda, y la energía máxima que puede adquirir la partícula  $\alpha$ .

## Periodo de Semidesintegración:

Tiempo necesario para que la cantidad de núcleos radiactivos del isótopo considerado se reduzca a la **mitad de la cantidad inicial**.

## Periodo de Vida media:

Vida media “ $\tau$ ” de una sustancia radiactiva es el promedio de vida de un núcleo o de una partícula subatómica libre antes de desintegrarse

Isótopo	Periodo $\lambda$	Emisión
Uranio-238	4510 millones de años	Alfa
Carbono-14	5730 años	Beta
Cobalto-60	5,271 años	Gamma
Yodo-131	8,05 días	Beta
Radón-222	3,82 días	Alfa

## Constante de desintegración radiactiva

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0.693}{T}$$

## Vida Media

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693} = 1.44 T$$

$$T_{1/2} = \tau \ln 2$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

## Periodo de Semidesintegración:

Ejemplo:

1. Determine la actividad de  $1\text{mg}$  de  $^{51}\text{Cr}$ , sabiendo que su período de semidesintegración es  $T = 27,8\text{días}$ . Los datos son:

- $m = 1\text{mg} = 1 \cdot 10^{-3}\text{g}$
- $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$
- $M_A = 51\text{g}$

$$m = N \frac{M_A}{N_A} \longrightarrow A(t) = \lambda N(t) = \lambda m \frac{N_A}{M_A} \Rightarrow m = \frac{A M_A}{\lambda N_A}$$

Primero determinamos  $\lambda$  en  $\text{s}^{-1}$

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T} = \frac{\ln(2)}{27,8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 2,88 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

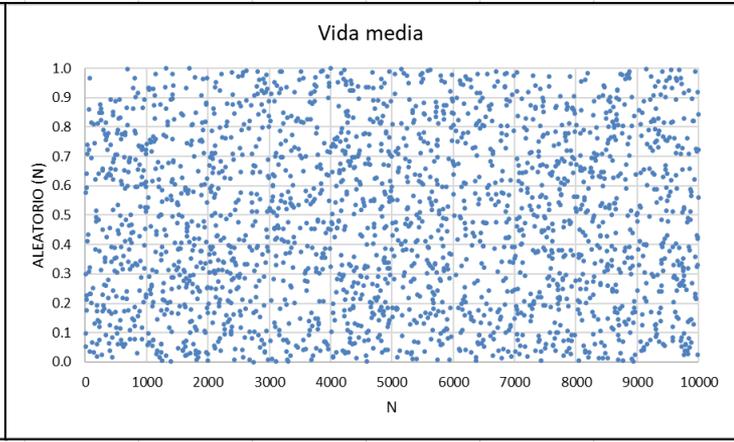
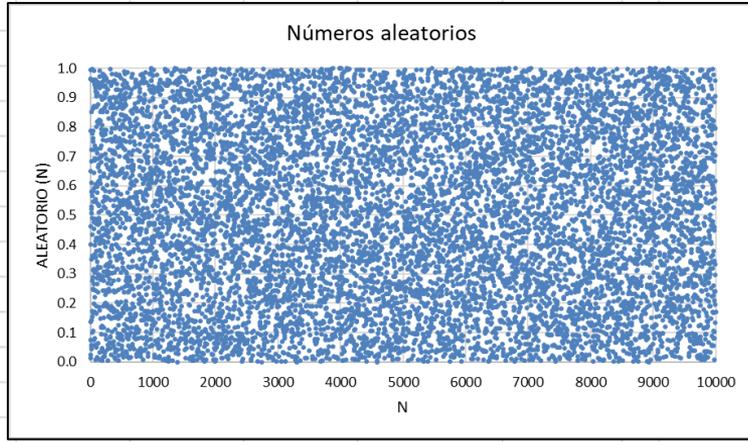
Entonces:

$$A = \lambda m \frac{N_A}{M_A} = 3,04 \cdot 10^{12} \frac{1}{\text{s}} = 3,04 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

# Periodo de Vida media:

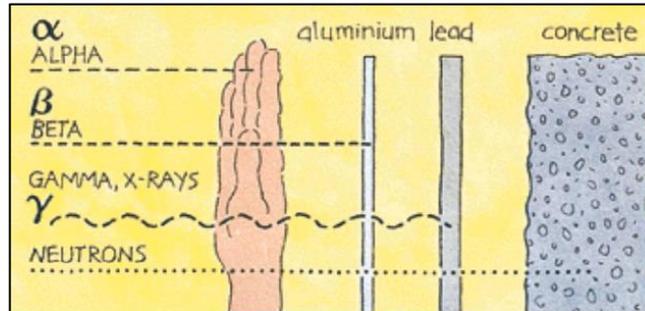
## Programa Monte Carlo para calcular el periodo de semidesintegración

	Aleatorio	Vida media (d)					
			Ln2	T1/2			
1	0.57	3.33	0.6931	2.70	d	$\lambda$	$\rightarrow$ Es la constante de decaimiento (es igual a $\ln(2) / T_{1/2}$ )
2	0.76	5.51		233021	s		
3	0.76	5.53					
4	0.59	3.45	N° Datos	10000			
5	0.39	1.92	Lambda	0.26			
6	0.33	1.54	vm	3.89		3.89	
7	0.28	1.26					
8	0.83	6.81					
9	0.75	5.38					
10	0.08	0.33					
11	0.53	2.96					
12	0.01	0.03					
13	0.24	1.08					
14	0.52	2.83					
15	0.99	18.06					
16	0.80	6.17					
17	0.01	0.02					
18	0.22	0.97					
19	0.72	4.93					



# RADIACIONES IONIZANTES

- Entre **1896 y 1903**, los científicos descubrieron que no todos los elementos radiactivos emiten las mismas radiaciones.
- Algunos emiten radiaciones más potentes que otros, cada una de las cuales transforma el núcleo de distinta manera.
- Cuando un átomo radiactivo se desintegra, las partículas que están dentro de él (neutrón, protón y electrón) dan origen a otras partículas.
- Las partículas alfa, beta y la radiación gamma son las más características de un fenómeno de radiación nuclear; también se emiten otras como positrones y neutrones.



# RADIACIONES IONIZANTES

## Partículas alfa:

Son un flujo de partículas con carga positiva (2+). Están formadas por **dos protones** y **dos neutrones**, lo que equivale a átomos de Helio (He) sin sus electrones.

- Son partículas **muy pesadas**, casi 8000 veces más que **los e-** y 4 veces más que **los protones**.
- Alcanzan una velocidad igual a la veintava parte de la de la luz, aprox. 15000 km/s.
- Al poseer **una gran velocidad**, poseen **una gran energía cinética** ya que tienen **mucha masa**.

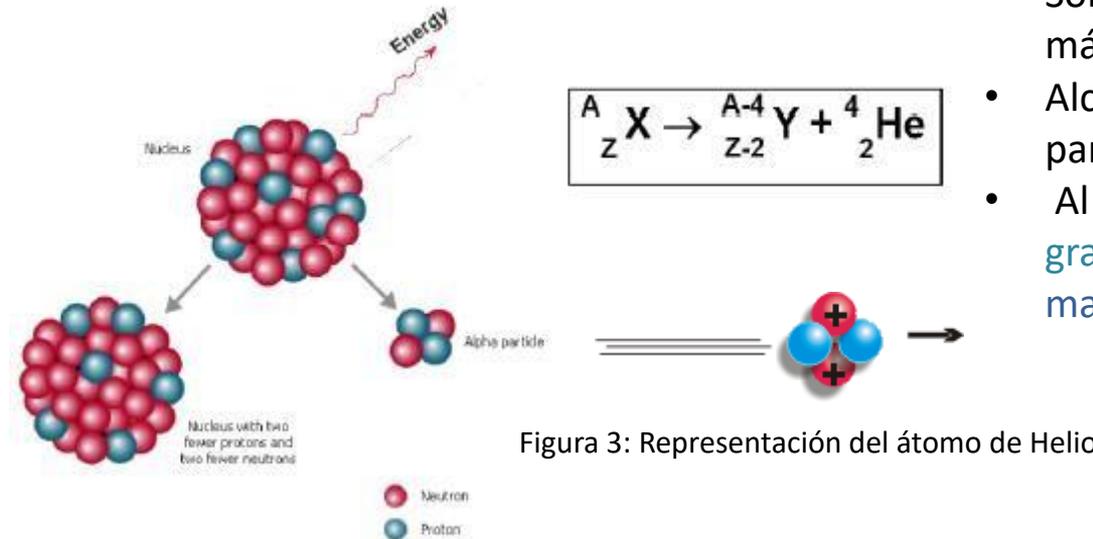
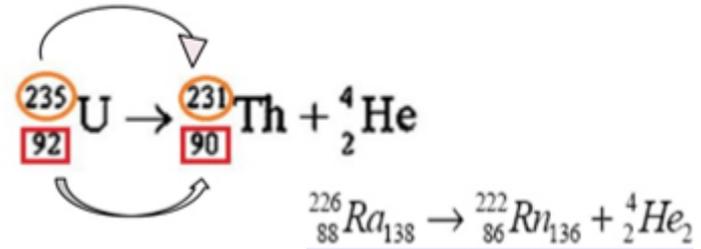


Figura 3: Representación del átomo de Helio

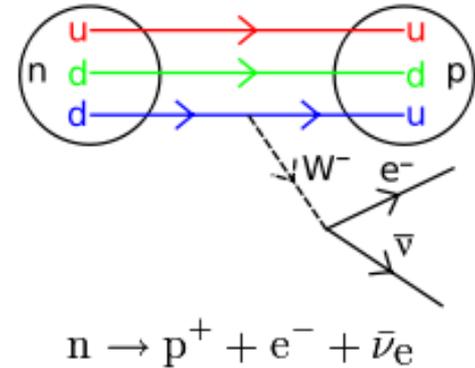
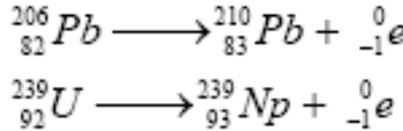
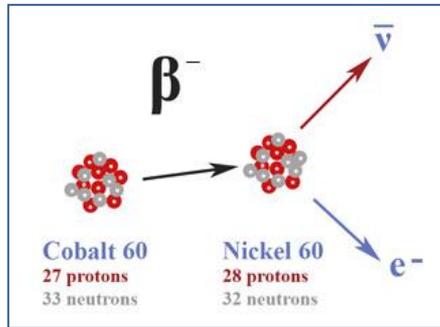


(Representación del átomo emitiendo partículas alfa)

# RADIACIONES IONIZANTES

## Partículas beta -:

Son **electrones ( $e^-$ )** lanzados, **a altas velocidades**, desde **un núcleo inestable**. La partícula  $\beta^-$  que se emite es un  $e^-$ , con su correspondiente carga y masa, indistinguible de los  $e^-$  de las capas atómicas pero son más energéticos. Como los núcleos no contienen  $e^-$  libres, la explicación de esta emisión es que un neutrón del núcleo se convierte en un protón y **un electrón**; el protón resultante permanece dentro del núcleo en virtud de la fuerza nuclear, y el  $e^-$  escapa como **partícula  $\beta^-$** .



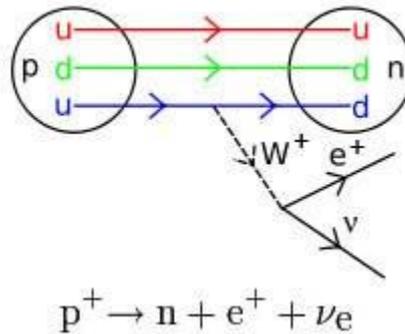
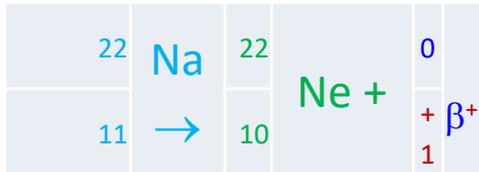
(Diagrama de Feynman del decaimiento beta  $\beta^-$ )

En todo decaimiento beta  $\beta^-$  se emite también una nueva partícula, el antineutrino. Esta partícula no tiene carga y muy poca masa (oscilaciones de neutrinos)

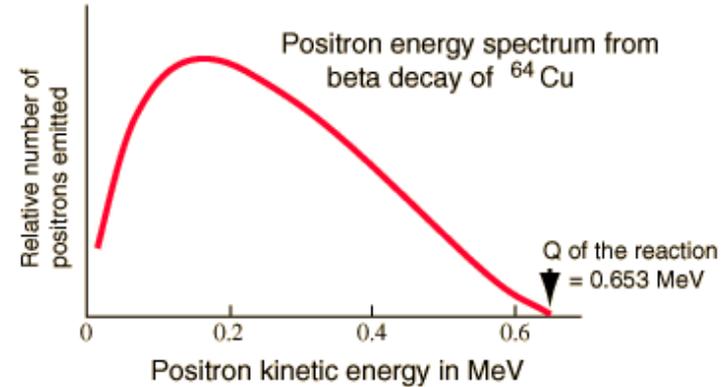
# RADIACIONES IONIZANTES

## Partículas beta +:

Algunos núcleos emiten **partículas  $\beta^+$**  (**positrones**), que tienen la misma masa que los  $e^-$ , y carga  $e^+$ , o sea una carga electrónica pero positiva. Estas partículas son las **antipartículas** de los **electrones**. Se crean en el **núcleo** cuando un protón se convierte en un neutrón. El nuevo neutrón permanece en el núcleo y el positrón (junto con otro neutrino) es emitido. En consecuencia, el núcleo pierde una carga positiva, como lo indica el siguiente ejemplo:



(Diagrama de Feynman del decaimiento beta  $\beta^+$ )



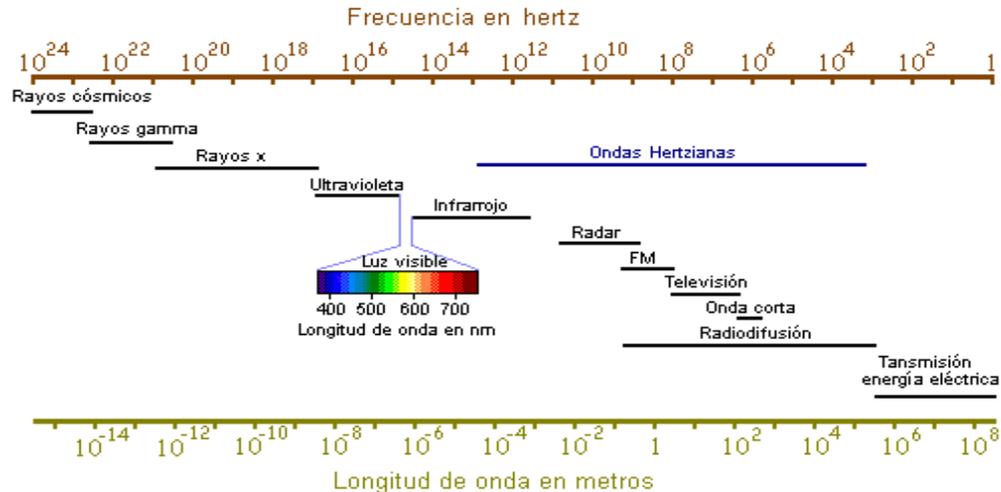
(Gráfica de energía del decaimiento beta  $\beta^+$ )

# RADIACIONES IONIZANTES

## Radiación gamma:

Los rayos  $\gamma$  son fotones, o sea paquetes de radiación electromagnética, como la luz visible, la ultravioleta, la infrarroja, los rayos X, las microondas y las ondas de radio. No tienen masa ni carga, y solamente constituyen energía emitida en forma de onda.

En consecuencia, cuando un núcleo emite un rayo  $\gamma$ , se mantiene como el mismo núcleo, pero en un estado de menor energía.

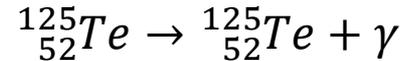


(La radiación  $\gamma$  forma parte del espectro electromagnético)

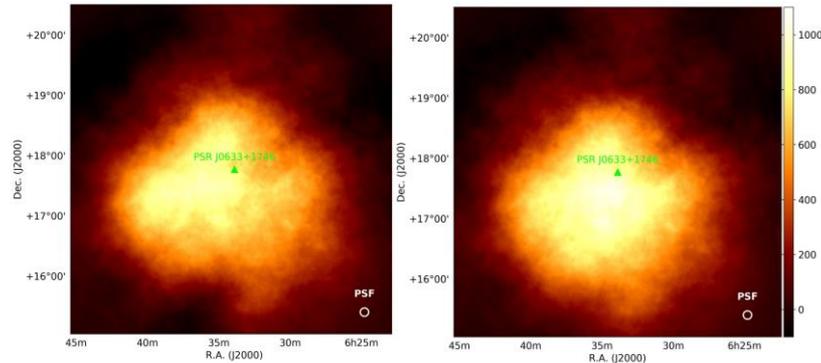
# RADIACIONES IONIZANTES

## Radiación gamma:

La radiación  $\gamma$  se emite debido a **cambios de energía** dentro del **núcleo**. Su emisión no provoca variación en el número másico y tampoco en el número atómico. Simplemente se trata de **un núcleo excitado** que **libera energía** de esta forma:



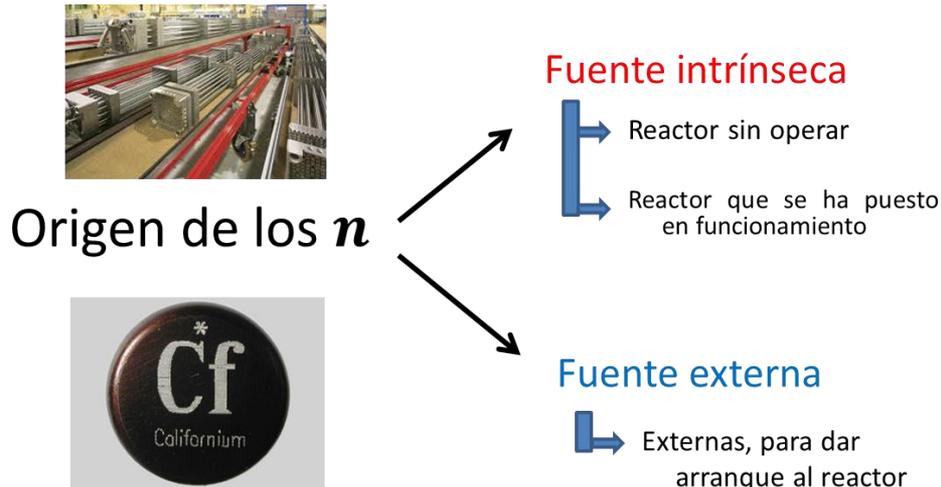
- Su peligrosidad radica en que **son altamente** mutagénicas para las células vivas.
- La radiación  $\gamma$  forma parte de la radiación cósmica <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>



# RADIACIONES IONIZANTES

## Neutrones:

Radiación ionizante que consisten en neutrones libres producidos como resultado de reacciones nucleares, tales como la fisión nuclear, la fusión nuclear, desintegración radiactiva, etc. Estos neutrones libres reaccionan con los núcleos de otras moléculas estables para formar nuevos isótopos. Esto resultará en una reacción en cadena emitiendo peligrosas y dañinas radiaciones sobre grandes espacios:



# RADIACIONES IONIZANTES

Fuentes intrínsecas de neutrones:

Isótopos del Uranio y Plutonio: U-238 , U-235, Pu-239

Boro + partículas alfa:

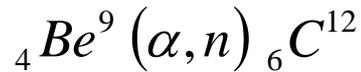
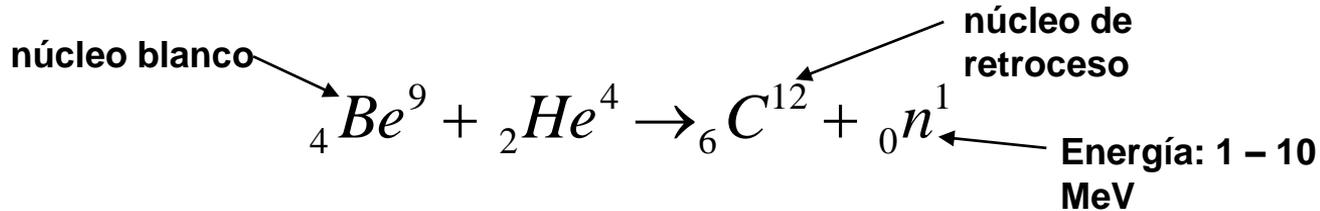
Deuterio + radiación gamma:

Nucleído	$T_{1/2}$ (fisión)	$T_{1/2}$ (dec. $\alpha$ )	Neutrones/sec /g
${}_{92}^{235}\text{U}$	$1.8 \cdot 10^{17}$ años	$6,8 \cdot 10^8$ años	$8,0 \cdot 10^{-4}$
${}_{92}^{238}\text{U}$	$8,0 \cdot 10^{15}$ años	$4,5 \cdot 10^9$ años	$1,6 \cdot 10^{-2}$
${}_{94}^{239}\text{Pu}$	$5,5 \cdot 10^5$ años	$2,4 \cdot 10^4$ años	$3,0 \cdot 10^{-2}$
${}_{94}^{240}\text{Pu}$	$1,2 \cdot 10^{11}$ años	$6,6 \cdot 10^3$ años	$1,0 \cdot 10^3$
${}_{98}^{252}\text{Cf}$	66 años	2.65 años	$2,3 \cdot 10^{12}$

## RADIACIONES IONIZANTES

Fuentes externas de neutrones:

Las fuentes externas son fuentes artificiales de neutrones instaladas que sirven como apoyo a las fuentes intrínsecas que suelen tener una naturaleza muy débil de radiación

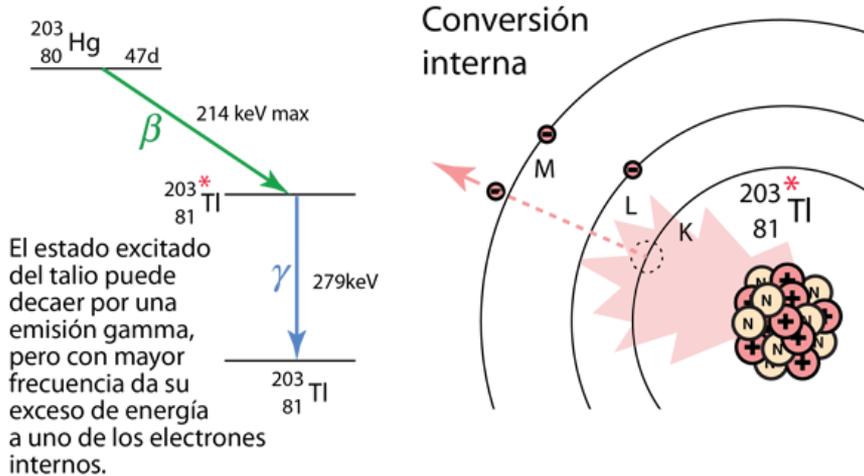


Emisores de  $\alpha$ : Radio-226, Polonio-210 y Plutonio-239

# RADIACIONES IONIZANTES

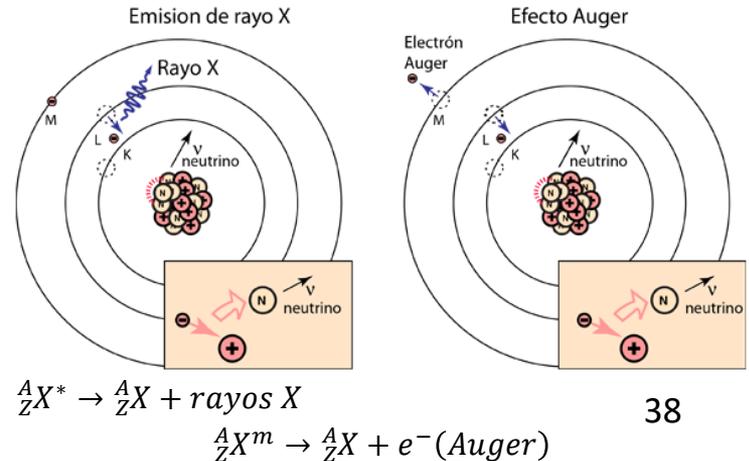
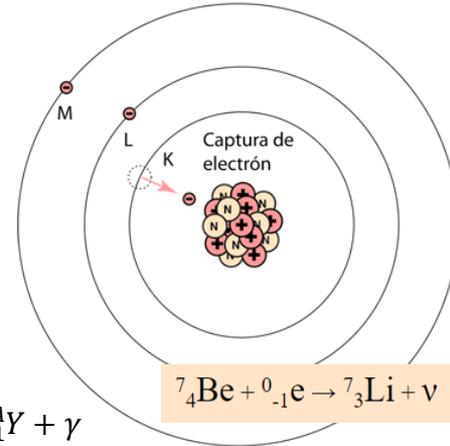
## Conversión interna:

La conversión interna es un proceso electromagnético, por el cual un estado excitado nuclear decae por la emisión directa de uno de sus electrones atómicos. Los campos eléctricos multipolares del núcleo, interactúan con los electrones orbitales, con energía suficiente para expulsarlos del átomo.



## Captura electrónica:

La captura de electrones es una de las formas de radioactividad. Un núcleo padre puede capturar a uno de sus electrones orbitales y emitir un neutrino. Este es un proceso que compite con la emisión de positrones, y tiene el mismo efecto sobre el número atómico.



# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA (X)

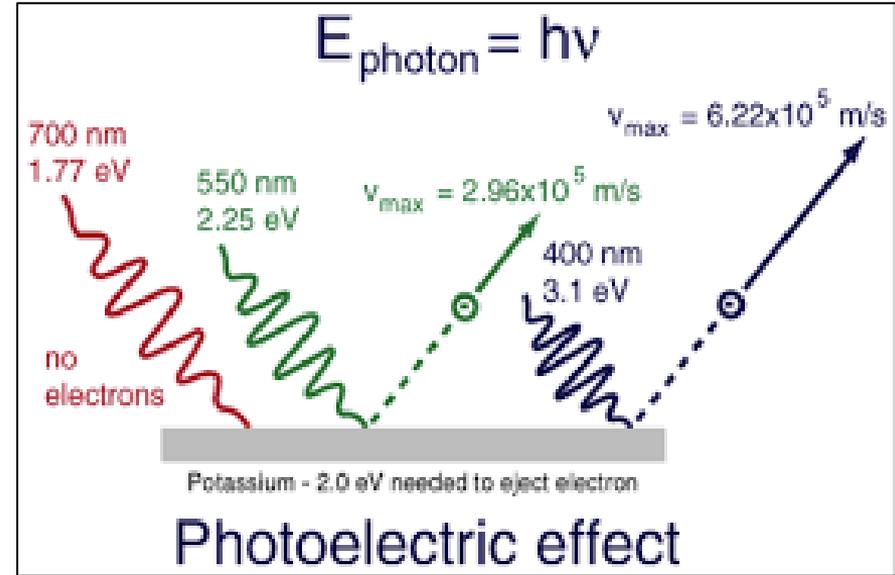
## Efecto Fotoeléctrico:

En el efecto fotoeléctrico, cada e- es sacado de su átomo y se convierte en un ion negativo.

El átomo al cual se le quitó el e-, es ahora un ion positivo.

Se forma un par de iones. El fotón desaparece, éste es absorbido completamente.

$$hf = hf_0 + \frac{1}{2}mv_e^2$$

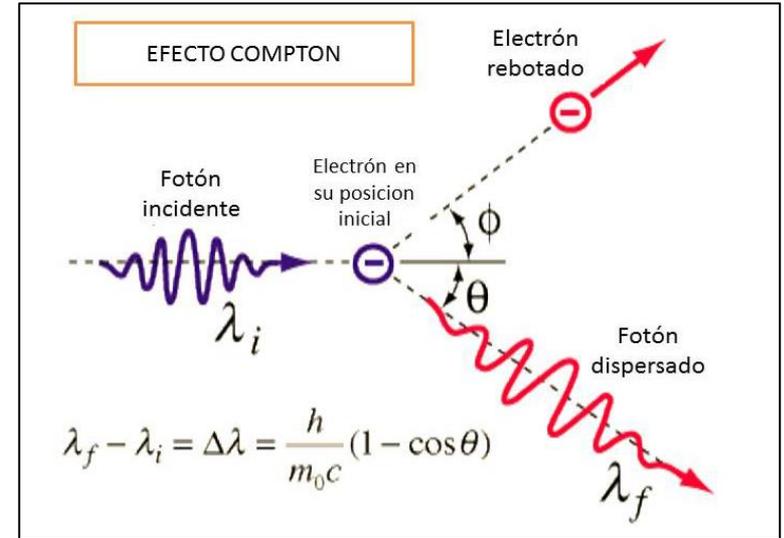
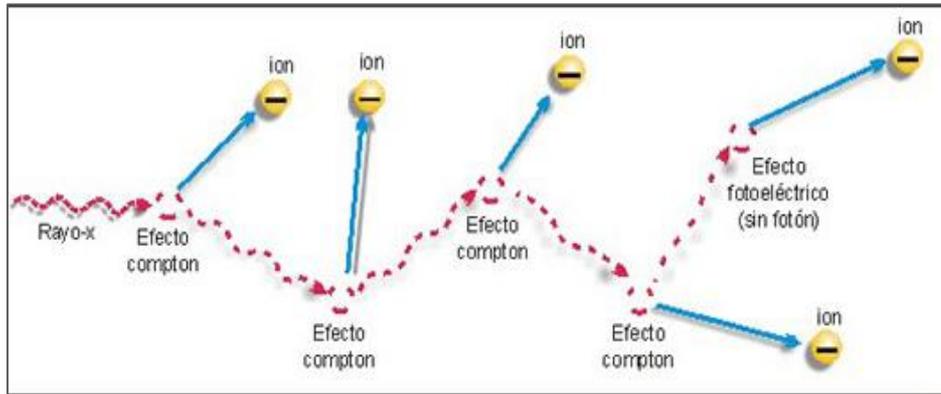


Efecto fotoeléctrico debido a los rayos X o gamma.

# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA (X)

## Efecto Compton:

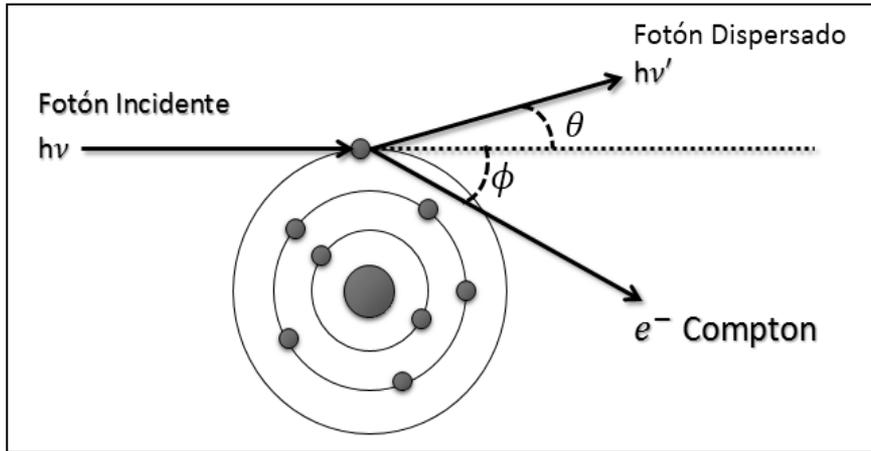
En el efecto Compton, no toda la energía del fotón es absorbida por el e-. Cuando el e- es disparado, hay todavía algún exceso de energía sin utilizar.



Efecto Compton debido a los rayos X o gamma.

# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA (X)

## Efecto Compton:



$$\Rightarrow \tan\phi = \frac{1}{1 + \epsilon} \cot\frac{\theta}{2}$$

$$\epsilon = \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

$$h\nu' = h\nu \frac{1}{1 + \epsilon(1 - \cos\theta)}$$

$$E_K^c(h\nu, \theta) = h\nu \frac{\epsilon(1 - \cos\theta)}{1 + \epsilon(1 - \cos\theta)}$$

Energía de los fotones dispersados:

Energía de los electrones:

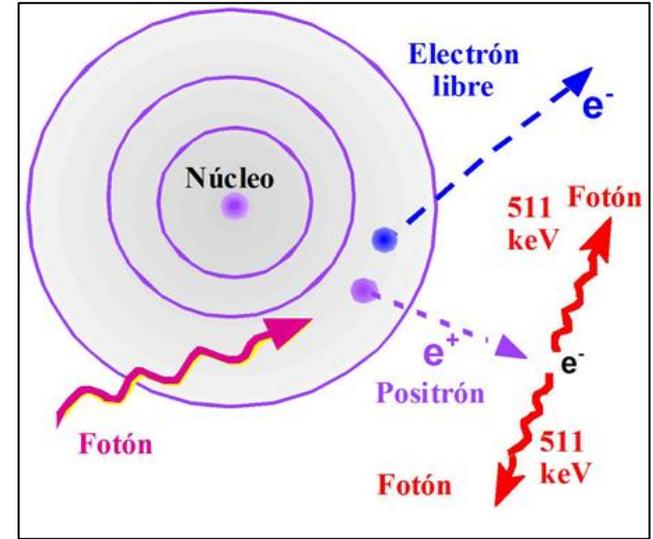
# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA (X)

## Producción de pares:

El efecto de producción de pares se da con energías mayores 1.02 MeV porque este número indica la suma de ambas masas del par.

Si la energía del  $\gamma$  original es mayor que 1.02 MeV, el restante o el excedente se lo reparten entre el  $e^-$  y el positrón  $e^+$  en forma de energía cinética, logrando así ionizar el material.

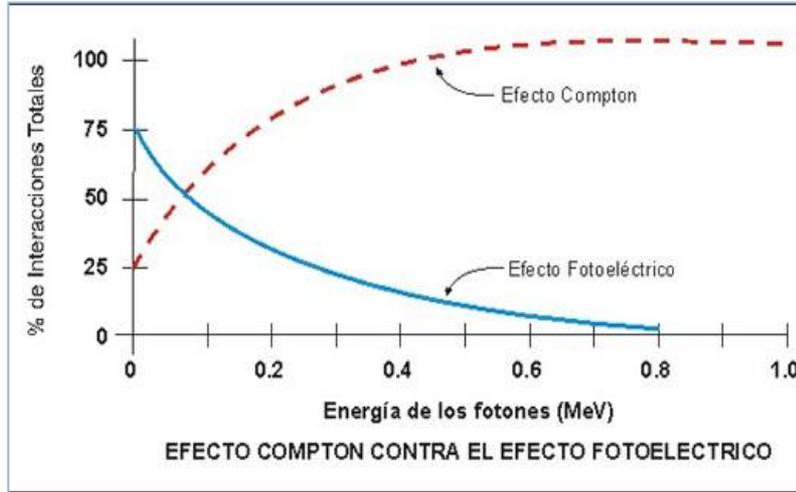
Al final de su trayectoria, el positrón  $e^+$  forma con el  $e^-$ , un positronio  $Ps$  y luego se elimina o aniquila produciendo dos fotones de aniquilación de 0.51 MeV cada uno.



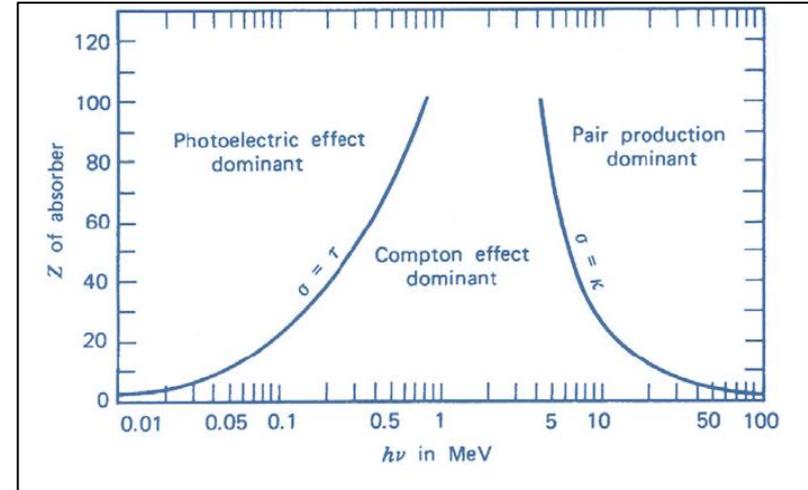
Efecto producción de pares  
debido a lo rayos gamma

# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA (X)

Importancia relativa:



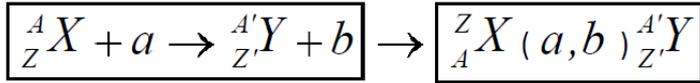
Efecto fotoeléctrico y Compton en el rango de los rayos X o las  $\gamma$  de baja energía  $< 1\text{MeV}$ .



Las tres maneras principales de que los rayos X y los rayos  $\gamma$  interactúan con la materia. En los tres casos se producen electrones muy energéticos.

# REACCIONES NUCLEARES

Una reacción nuclear es una reacción en la que se alterna la configuración electrónica y el núcleo de los átomos. Por eso las sustancias y los elementos son diferentes y después de la reacción aparecen átomos que no estaban presentes en las sustancias originales



## Energía de la reacción:

Energía que se absorbe o se desprende en la reacción nuclear. Debida a la transformación de parte de la masa de las partículas en energía.

$$E_r = \Delta m \cdot c^2 = \left( \sum m_{\text{reactivos}} - \sum m_{\text{productos}} \right) \cdot c^2$$

- Si  $E_r < 0$ , reacción exotérmica, ocurrirá espontáneamente.
- Si  $E_r > 0$ , reacción endotérmica, no ocurrirá espontáneamente.

Las reacciones nucleares son los procesos en los que se producen cambios en el núcleo de los átomos. Estos cambios pueden ser en el número de protones, en el número de neutrones o en el estado energético. Las energías involucradas en estas reacciones son del orden de 0,1 MeV , mientras que las de las reacciones químicas son sólo del orden de 1 eV.

## Sección eficaz “ $\sigma$ ” :

Es la probabilidad de que ocurra una reacción depende de: Tipo de partícula y energía del proyectil. Físicamente se cuenta como numero de reacciones por unidad de tiempo y de partícula, La interpretación geométrica es el área efectiva del núcleo blanco

$$\sigma = R / (N \cdot I)$$

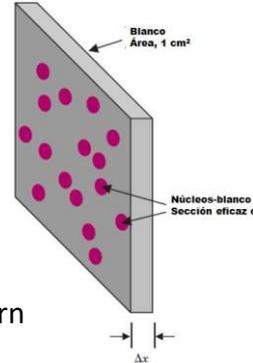
$R$ : Reacciones por unidad de tiempo

$N$ : Partículas en el blanco por unidad de área

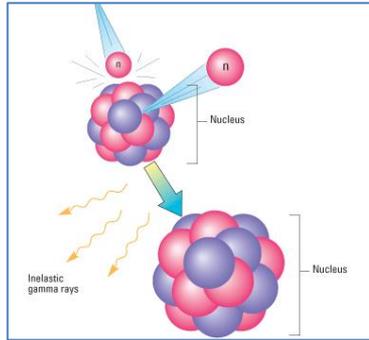
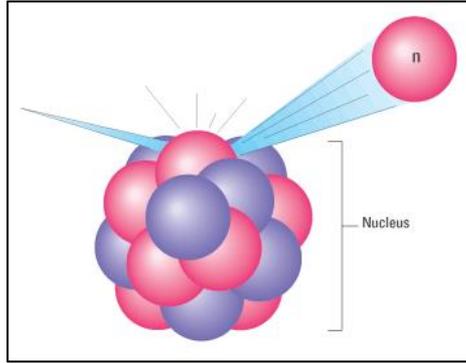
$I$ : Partículas incidentes por unidad de área y tiempo.



$$10^{-28} \text{ m}^2 = 1 \text{ barn}$$

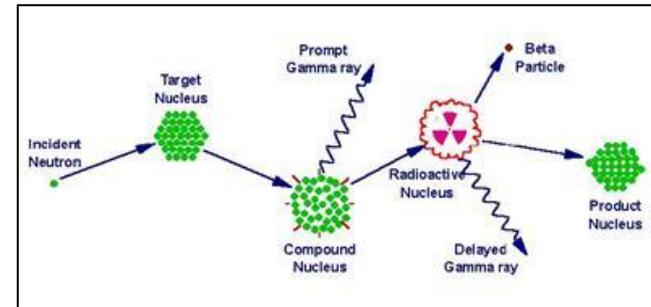
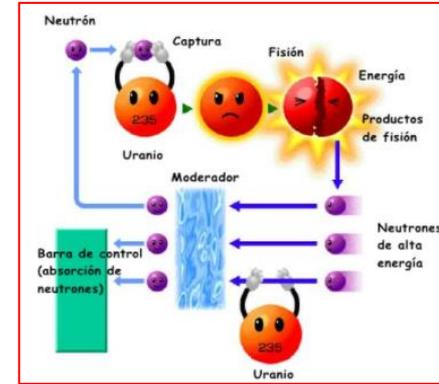


## INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA



### Dispersión Elástica e Inelástica

$$\sigma_{total} = \sigma_{elas} + \sigma_{inelas} + \sigma_{captura} + \dots$$



### Fisión y Captura Radiactiva

# INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

## DISPERSIÓN ELÁSTICA

El neutrón choca con un núcleo y continúa su trayectoria en otra dirección con menor velocidad.

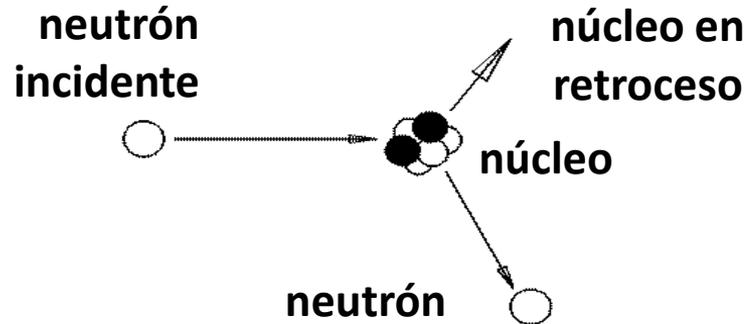


El neutrón perdió energía



***Se moderó***

La Energía cinética ganada por el núcleo es la Energía cinética perdida por el neutrón.



# INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

## DISPERSIÓN INELÁSTICA

### 1º etapa:

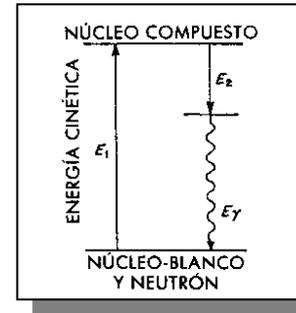
- Un núcleo blanco captura un neutrón.
- Se forma un **núcleo compuesto** en estado excitado (no hay conservación de la Energía cinética)

### 2º etapa:

- El núcleo compuesto ( $10^{-14}$  seg) libera energía emitiendo un neutrón (núcleo blanco excitado).
- La energía de excitación se emite como radiación  $\gamma$  (núcleo blanco original)



**Colisión Inelástica**



**Balance Energético**

## INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

La energía que poseen los neutrones presentes en el núcleo de un reactor suelen agruparse grupos según su energía; es importante conocer el grupo con el cual se tomara para que se pueda elegir el mejor indicador para su activación.

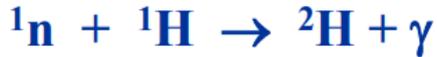
<b>Neutron Name/Title</b>	<b>Energy (eV)</b>
<b>Cold Neutrons</b>	<b><math>0 &lt; 0.025</math></b>
<b>Thermal Neutrons</b>	<b><math>0.025</math></b>
<b>Epithermal Neutrons</b>	<b><math>0.025 &lt; 0.4</math></b>
<b>Cadmium Neutrons</b>	<b><math>0.4 &lt; 0.6</math></b>
<b>Epicadmium Neutrons</b>	<b><math>0.6 &lt; 1</math></b>
<b>Slow Neutrons</b>	<b><math>1 &lt; 10</math></b>
<b>Resonance Neutrons</b>	<b><math>10 &lt; 300</math></b>
<b>Intermediate Neutrons</b>	<b><math>300 &lt; 1,000,000</math></b>
<b>Fast Neutrons</b>	<b><math>1,000,000 &lt; 20,000,000</math></b>
<b>Relativistic Neutrons</b>	<b><math>&gt;20,000,000</math></b>

## Fisión

# INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

Interacción con neutrones lentos:

## Radiative Capture



Esta reacción es importante en dosimetría de neutrones y blindaje



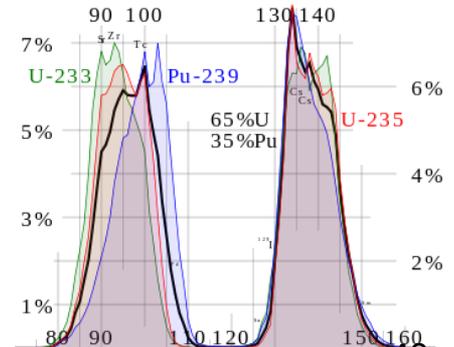
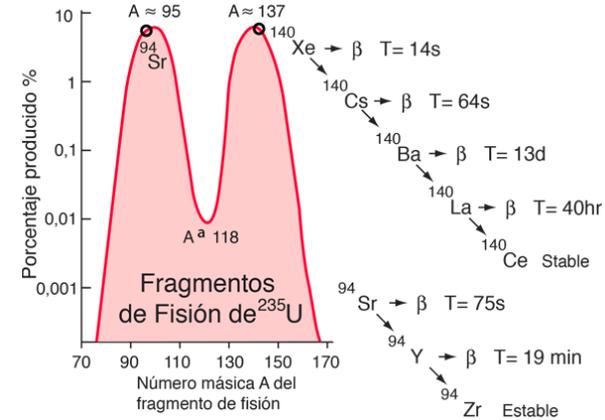
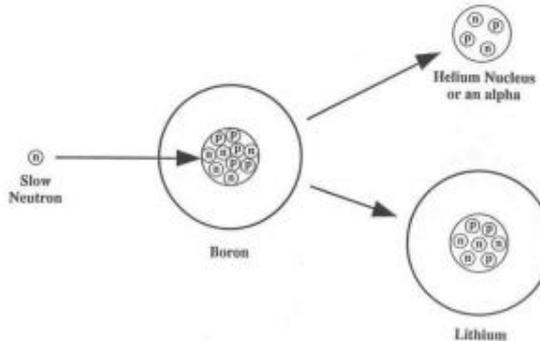
Esta reacción es importante para algunos detectores de neutrones

Fundamentos básicos de la energía nuclear

## Charged Particle Emission



Utilizado comúnmente en proceso de fisión



# INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

Interacción con neutrones térmicos:

Para neutrones **TÉRMICOS** existen 4 clases de reacciones:



1º etapa: formación del núcleo compuesto excitado

2º etapa: expulsión de un p ó  $\alpha$ , emisión de un  $\gamma$ , o ruptura del núcleo en 2 fragmentos

# INTERACCIÓN DE LOS NEUTRONES CON LA MATERIA

Radioisótopos elaborados por activación neutrónica:

Radionuclide	Decay Mode	Production Reaction	Natural Abundance of Target Isotope (%) <sup>*</sup>	$\sigma_c(b)^{\dagger}$
$^{14}\text{C}$	$\beta^-$	$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$	99.6	1.81
$^{24}\text{Na}$	$(\beta^-, \gamma)$	$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	100	0.53
$^{32}\text{P}$	$\beta^-$	$^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$	100	0.19
		$^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$	95.0	0.1
$^{35}\text{S}$	$\beta^-$	$^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$	75.8	0.4
$^{42}\text{K}$	$(\beta^-, \gamma)$	$^{41}\text{K}(n,\gamma)^{42}\text{K}$	6.7	1.2
$^{51}\text{Cr}$	$(\text{EC}, \gamma)$	$^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$	4.3	17
$^{59}\text{Fe}$	$(\beta^-, \gamma)$	$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$	0.3	1.1
$^{75}\text{Se}$	$(\text{EC}, \gamma)$	$^{74}\text{Se}(n, \gamma)^{75}\text{Se}$	0.9	30
$^{125}\text{I}$	$(\text{EC}, \gamma)$	$^{124}\text{Xe}(n, \gamma)^{125}\text{Xe} \xrightarrow{\text{EC}} ^{125}\text{I}$	0.1	110
$^{131}\text{I}$	$(\beta^-, \gamma)$	$^{130}\text{Te}(n, \gamma)^{131}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{131}\text{I}$	33.8	0.24

## Preguntas al azar (2)

1) Los radioisótopos son átomos con mismo número de protones, son de elementos que emanan cierto tipo de radiación ionizante.

De acuerdo a esto relacione:

- a) Técnicas radiográficas
- b) Análisis por activación
- c) Medidores por transmisión beta
- d) Medidores por transmisión de fotones
- e) Teleterapia
- f) Braquiterapia
- g) Radioesterilización
- h) Irradiación de alimentos
- i) Radiotrazadores
- j) Radiofármacos

**Rpta. jfiahbcged**

- El más utilizado es el  $^{99}\text{Tc-m}$
- Utiliza agujas de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  o  $^{226}\text{Ra}$  en el tratamiento del cáncer
- Se utiliza el H-3 (tritio) para seguimiento de pérdidas en agua.
- Control de calidad en soldaduras
- Implementa el símbolo radura

Fundamentos básicos de la energía nuclear

- Utiliza los neutrones para su activación
- Determina espesores de plásticos, etc
- Elabora material orgánico (piel de cerdo) para injerto.
- Utiliza la técnica de multihaces
- Determina espesores de láminas metálicas, vidrios, etc

2) Según el proceso de interacción de los neutrones con la materia indique verdadero o falso

- a) La fisión es una reacción en cadena controlada.
- b) Las interacciones más probables son: dispersión puramente elástica, elásticamente resonante y captura.
- c) Los neutrones térmicos tienen una energía diferenciable de 0.25 eV
- d) Las reacciones nucleares de alta energía llegan hasta los 100 MeV
- e) En la interacción de neutrones lentos pueden aparecer otras partículas. ( $\alpha, \beta, \gamma$ )

**Rpta. VVFFV**

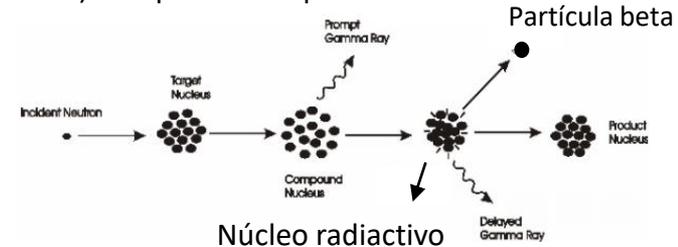
2024

3) De acuerdo a el proceso de activación neutrónica, señale verdadero o falso según corresponda. O complete los espacios en blanco

- a) La sección eficaz es la probabilidad de interacción
- b) La actividad de la muestra activada depende del flujo de neutrones.
- c) Antes del núcleo radiactivo, se emite rayos gamma pronto
- d) La actividad de la muestra no obedece la ley de decaimiento
- e) La muestra se puede activar hasta el infinito, depende del tiempo de irradiación.

**Rpta. VVFFF**

4) Complete los espacios en blanco



## Preguntas al azar (3)

1) Los núcleos inestables explican la presencia de radioactividad en un compuesto determinado, emitiendo diversas formas de partículas. Al respecto establezca la correspondencia y marque la secuencia correcta.

- a) Alfa
- b) Beta +
- c) Beta -
- d) Captura electrónica
- e) Radiación gamma

**Rpta. dbcea**

( ) Emite electrones con fotones de energías características a los saltos orbitales del átomo. No hay presencia de neutrino o antineutrino.

( ) Su número de masa se mantiene constante

( ) Su número atómico aumenta

( ) Representa por cuantos o paquetes de energía, forma parte del espectro electromagnético

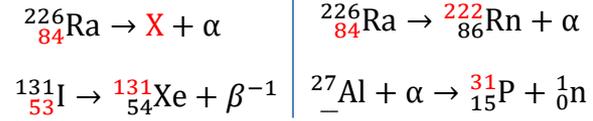
( ) Es el núcleo de un átomo de helio con energía cinética

2) Según el proceso de desintegración radiactiva indique verdadero o falso

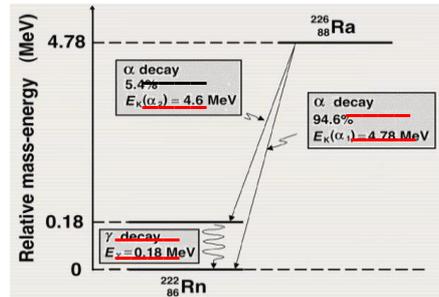
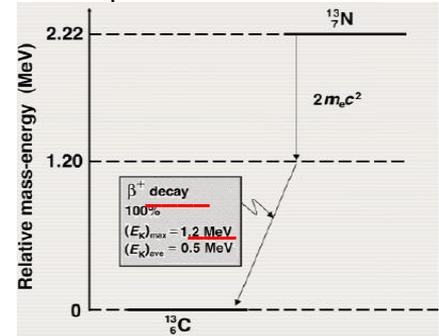
- a) El proceso de desintegración radiactiva es espontánea.
- b) Para el proceso de desintegración se conserva la energía cinética, el momentum lineal y la masa de las partículas
- c) En el decaimiento radiactivo, los átomos de la sustancia decaen respecto al tiempo.
- d) Los DPS son las cuentas que contabiliza un detector de radiación.
- e) La emisión más penetrante es la alfa

**Rpta. VFVFF**

3) De acuerdo a el proceso de reacciones nucleares, complete con un número los espacios en blanco:



4) Complete los espacios en blanco: Elemento, tipo de radiación o energía según corresponda.



## Bibliografía:

1. Design of Irradiation Channels in Radium-Beryllium  $^{226}\text{Ra}$ -Be Neutron Irradiation Facility Usmba-Fsdm-Fez Morocco
2. Neutron Fluence Measurements. Technical reports series N° 107. OIEA, 1970 (es necesario ubicar el reporte para fuentes de neutrones, esta referencia es para reactores nucleares)
3. Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes
4. CR-39 Nuclear Track Detector used for neutrón dosimetry: System Calibration
5. Calculation of Neutron fluxes and radiation doses for neutrón irradiator ( $^{226}\text{Ra}$ -Be using the MCNP5 Code
6. Management of disused long sealed radioactive sources (LLSRS)
7. Alpha particle energy response of CR-39 detectors by 50 Hz-HV electrochemical etching method.
8. X-5 Monte Carlo Team. Diagnostics Application Group. Los Alamos National Laboratory. MCNP-A General Montecarlo, N-Particle Transport Code, Versión 5 (2003)
9. Exposiciones de la clase en Física Nuclear. Profesor Daniel Francisco Palacios
10. Krane K. Introductory Nuclear Physics. . Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons Ltd.; 1988.
11. Glasstone S. y Sesonske A. Ingeniería de reactores nucleares. 1era ed. España: Reverté; 1968.
12. Knoll G.F. Radiation detection and measurement. 2da ed. Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons Ltd.; 1989.
13. Sánchez del Rio C., M. Aránzazu Vigon, Verdaguer F., editores. Física del Neutrón. 1ra ed. Madrid: Junta de energía Nuclear; 1958.
14. Alcalá Ruiz F. Notas sobre medidas de flujos neutrónicos. 1era ed. Madrid: Junta de energía nuclear; 1984.



IPEN: 2do Critico (16-09-2019 / 23:31 h)



PUCP: Curso de Montecarlo

# Muchas Gracias

- [victor.viera@pucp.edu.pe](mailto:victor.viera@pucp.edu.pe)
- [vviera@ipen.gob.pe](mailto:vviera@ipen.gob.pe)
- [vmvierac@unac.edu.pe](mailto:vmvierac@unac.edu.pe)



Universidad  
Nacional del Callao

Ciencia y Tecnología del Tercer Milenio  
Universidad Licenciada, Resolución N° 171-2019-SUNEDU/CD

# CURSO - TALLER FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR



GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA MÉDICA

Radiación Ionizante y Protección  
Radiológica 

Br. Shamuel Saenz Sotelo

**FCNM**  
PREGRADO

**FACULTAD DE  
CIENCIAS  
NATURALES Y  
MATEMÁTICA**

**UNAC**

# INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN IONIZANTE Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Fuentes de radiación. Fuente sellada. Fuente no sellada. Generadores de radiación. Magnitudes. Magnitudes de protección radiológica. Magnitudes operacionales. Principios de protección radiológica. Limite de dosis. Riesgos radiológicos. Medidas de protección radiológicas. Tiempo. Blindaje. Distancia. Medidas de protección contra exposición interna.

# Fuentes de Radiación

- “Una **fente radiactiva** es una fuente que contiene material radiactivo que se utiliza como fuente de radiación.”
- “Una **fente** es cualquier elemento que pueda causar exposición a la radiación – por ejemplo por emisión de radiación ionizante o liberación de material radiactivo o sustancias radiactivas – y que pueda ser tratado como entidad unitaria a efectos de protección y seguridad.”

- OIEA (2018) – Glosario de seguridad del OIEA

# Fuentes de Radiación

- Existe una gamma diversa de **fuentes radiactivas**, que va desde los radioisotopos hasta los aparatos de rayos X, pasando por los aceleradores de partículas.
- En la naturaleza sólo unos pocos radioisotopos se encuentran; la mayoría se genera de modo artificial y son estos últimos los más utilizados como **fuentes radiactivas**. Los radioisotopos pueden existir en cualquier estado de la materia, pero los que se encuentran en estado sólido constituyen el grupo más numerosos.

# Fuentes Selladas

- Una **fente sellada** es una fuente radiactiva en la que el material radiactivo está encerrado de forma hermética y permanente en una cápsula; o firmemente agredado y en forma sólida.



# Fuentes No Selladas

- Una **fente no sellada** es una fuente radiactiva en la que el material radiactivo no está encerrado de forma hermética y permanente en una cápsula; ni firmemente agredado y en forma sólida.
- Las fuentes no selladas consisten en polvos, líquidos o, a veces, gases que contienen elementos radiactivos.



# Fuentes de Radiación

- Existe una diferencia básica en la forma en que se utilizan las fuentes selladas y no selladas. Las **fuentes no selladas** general se agregan a un sistema con el objetivo de rastrear un camino, o bien, determinar una distribución. Por su parte, las **fuentes selladas** se instalan en dispositivos que permiten que la fuente entre y salga con seguridad, o en dispositivos que permiten que se libere un haz de radiación.
- “Un dispositivo radiactivo es un objeto en que se instala una fuente determinada. Sirve de blindaje de la radiación y permite emplear un haz de radiación controlado para el fin deseado”.

OIEA (2007) – Identificación de fuentes y  
dispositivos radiactivos, Colección de seguridad física nuclear N5

# Generadores de radiación

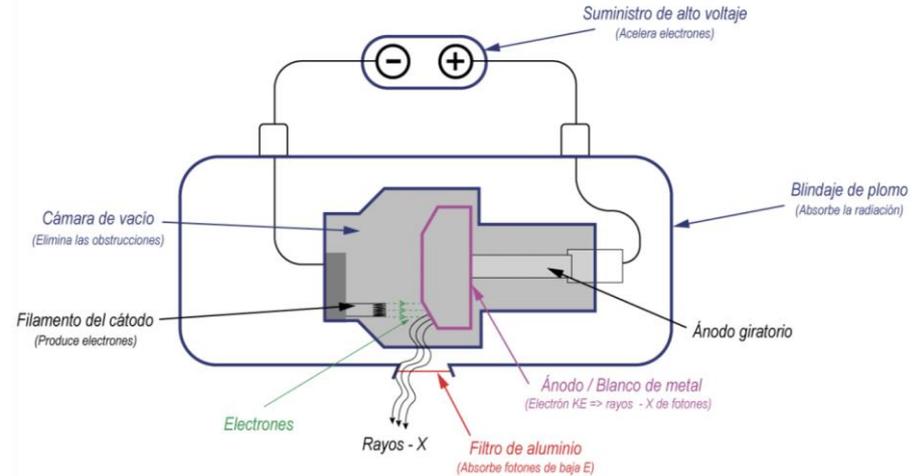
- “Un **generador** es un dispositivo capaz de generar radiación ionizante, como rayos X, neutrones, electrones u otras partículas cargadas, que se puede utilizar con fines científicos, industriales o médicos.”

[OIEA \(2018\) – Glosario de seguridad del OIEA](#)
- Los aceleradores de partículas y los aparatos de rayos X son algunos ejemplos de dispositivos generados de radiación que producen radiación ionizante.

# Generadores de radiación

- **Rayos X**

- El tubo de rayos X es una de las fuentes de radiación más utilizadas. Está formado por un filamento catódico- que emite un haz de electrones- y un ánodo metálico, ambos en un ambiente de vacío. Una fuente de alimentación externa proporciona alto voltaje para acelerador, y el ánodo está conectado al lado positivo del círculo eléctrico.



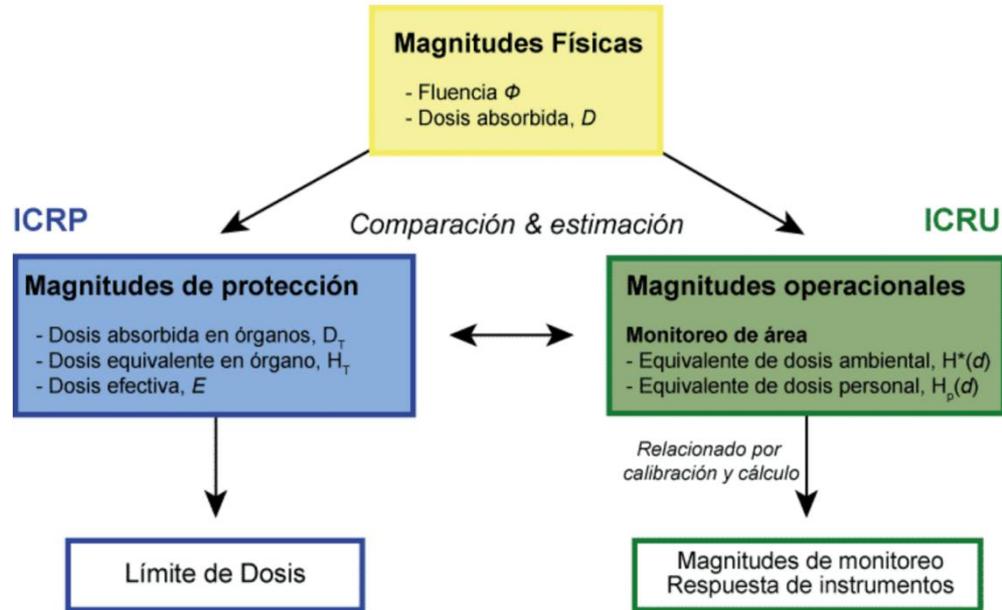
# Generadores de radiación

- **Aceleradores de Partículas**

- Un acelerador de partículas es una máquina que acelera partículas elementales, como electrones o protones, a energías muy altas. Se utilizan principalmente para aplicaciones industriales y médicas.
- En terminos generales, los aceleradores de partículas se pueden clasificar en dos categorías: **lineales o circulares**. Hay muchos tamaños diferentes, pueden tener decenas de kilometros o caber en una habitación pequeña.

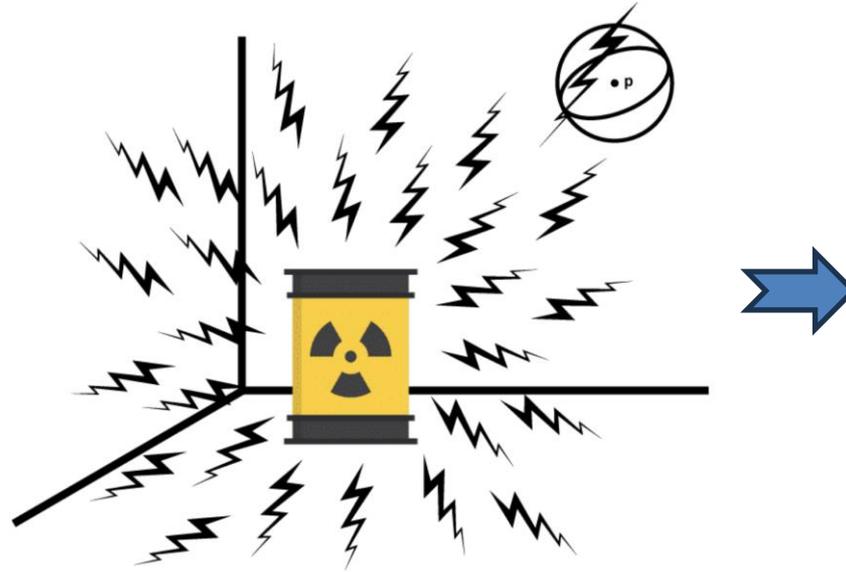


# Magnitudes



ICRU report 95 (2020): *Operational Quantities for External Radiation Exposure*

- Cuando se habla de radiación ionizante, es común referirse a ciertas magnitudes que describen la cantidad de radiación absorbida por los tejidos del cuerpo humano y la respuesta biológica a esta radiación.
- Estas magnitudes se denominan **magnitudes de protección radiológicas**.



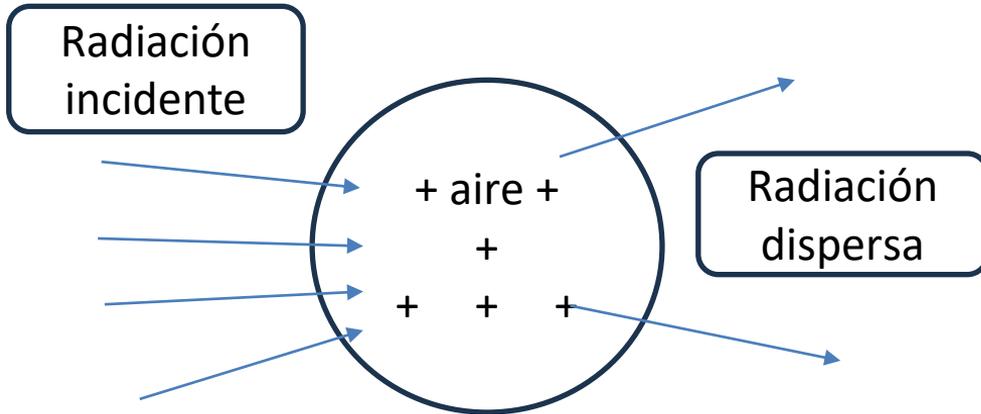
- Además de la fluencia, existen otras magnitudes físicas, como la **dosis absorbida**. Esta magnitud representa la cantidad de energía depositada por la radiación en una masa, sin importar cual sea esa masa.

## Magnitudes Física de radiación

Para evaluar los efectos de la radiación es importante conocer cómo se distribuyen las partículas y/o fotones en el espacio o en el cuerpo de un individuo. En este sentido, es importante conocer el número de partículas o fotones que existen en el punto de interés.

# Magnitudes de Protección Radiológica

- Exposición (X)
  - Es una magnitud radiométrica basada en la capacidad que tienen la radiación de producir ionización en el aire.
  - Se define como la **carga eléctrica total** de iones (positivos o negativos) producidos por unidad de masa de aire.



$$X = \frac{Q}{m}$$

**Unidad:** En el SI es el coulomb/kilogramo (C/kg).

**La unidad original fue el Roentgen (R),  $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$**

**Nota:**

Esta magnitud **SOLO** se define para fotones de energía menor a 3 MeV

# Magnitudes de Protección Radiológica

- Dosis absorbida en órganos (D):** Es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano. La unidad de dosis absorbida es **J/kg**. El nombre especial de la unidad es **gray (Gy)**.

$$D \text{ (Gy)} = \text{Energía (J)} / \text{masa (kg)}$$

- El comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), utiliza actualmente el término de **dosis baja** para referirse a niveles por debajo de 100 mGy...



Rangos dosimétricos utilizados por el UNSCEAR		
Dosis alta	Más de ~ 1 Gy	Accidentes radiológicos graves (por ejemplo, el accidente de Chernobyl y sus efectos en los bomberos)
Dosis moderada	~ 100 mGy a ~ 1 Gy	Trabajadores de la operación de recuperación después del accidente de Chernobyl
Dosis baja	~ 10 mGy a ~ 100 mGy	Múltiples tomografías computarizadas (TC)
Dosis muy baja	Menos de ~ 10 mGy	Radiografía convencional (es decir, sin TC)

# Magnitudes de Protección Radiológica

- **Tasa de dosis:** Es una medida de la velocidad a la cual se está depositando la dosis absorbida por unidad de tiempo. Se mide típicamente en unidades de gray por unidad de tiempo, como gray por segundo (Gy/s) o gray por hora (Gy/h).
- La tasa de dosis se puede calcular dividiendo la cantidad de energía de radiación absorbida por la masa del material expuesto y luego dividiendo por el tiempo de exposición.

$$\text{Tasa de dosis (Gy/s)} = \frac{\text{Dosis absorbida (Gy)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

Por ejemplo, si un material es expuesto a radiación durante 10 segundos y absorbe 1 Gy, la tasa de dosis sería:

$$= 0,1 \text{ Gy/s}$$

# Magnitudes de Protección Radiológica

- **Dosis equivalente en órganos ( $H_T$ )** : Es una medida de la dosis absorbida ajustada para tener en cuenta la radiación específica y su efecto biológico. La unidad es **J/kg**. El nombre especial de la unidad es **sievert (Sv)**.
- Los **factores de ponderación de la radiación ( $W_R$ )** : Se utilizan con fines de protección radiológica. Estos factores dependen del tipo y energía del campo de radiación que incide en la persona expuesta o del radionucleido depositado internamente.
- Para tener en cuenta cómo el tipo de radiación influye, la dosis absorbida en un órgano o tejido debe multiplicarse por el factor de ponderación de la radiación ( $W_R$ )

$$H_T \text{ (Sv)} = \text{Dosis absorbida en el órgano} * W_R$$

# Magnitudes de Protección Radiológica

- La siguiente tabla muestra los diferentes ( $W_R$ )

<b>Factores de ponderación de radiación recomendados:</b>	
Tipo de radiación	Factor de ponderación de radiación, $w_R$ .
Fotones	1
Electrones y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa, fragmentos de fisión, iones pesados	20
Neutrones	Una función continua de la energía de los neutrones.

*Todos los valores se refieren a la radiación que incide en el cuerpo o, en el caso de fuentes de radiación interna, emitida por el o los radionucleído(s) incorporado(s).*

Como ejemplo, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente de la siguiente manera:

$$H_{\text{hígado}} = \text{Dosis}_{\text{hígado}} * w_{\text{fotones}} + \text{Dosis}_{\text{hígado}} * w_{\text{alfa}}$$

$$H_{\text{hígado}} = 5 \text{ mGy} * 1 + 2 \text{ mGy} * 20$$

$$H_{\text{hígado}} = (5 + 40) \text{ mSv}$$

$$H_{\text{hígado}} = 45 \text{ mSv}$$

# Magnitudes de Protección Radiológica

- Dosis efectiva (E):** Es una medida de la dosis equivalente ponderada por los diferentes órganos y tejidos del cuerpo, teniendo en cuenta su susceptibilidad a la radiación. Esta magnitud se calcula para todo el cuerpo. La unidad es el **sievert (Sv)**.
- El factor utilizado para ponderar la dosis equivalente en un tejido u órgano se denomina **factor de ponderación del tejido ( $W_T$ )**

Factores de ponderación de tejido recomendados		
Tejido	$W_T$	Suma $w_T$
Médula ósea (roja), Colon, Pulmón, Estómago, Mama, Tejidos restantes*	0.12	0.72
Gónadas	0.08	0.08
Vejiga, Esófago, Hígado, Tiroides.	0.04	0.16
Superficie ósea, Cerebro, Glándulas salivales, Piel	0.01	0.04
	<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

\* Tejidos restantes: Suprarrenales, Región extratorácica (ET), Vesícula biliar, Corazón, Riñones, Nódulos linfáticos, Músculo, Mucosa oral, Páncreas, Próstata (♂), Intestino delgado, Bazo, Timo, Útero/cérvix (♀)

# Magnitudes de Protección Radiológica

- La **dosis efectiva (E)** es la medida más importante para evaluar el riesgo biológico de la radiación ionizante en la salud humana. Considera la susceptibilidad de diferentes órganos y tejidos a la radiación y la dosis equivalente recibida por cada uno.

Irradiación externa de todo el cuerpo con una fuente de radiación gamma con una dosis absorbida (D) de 10 mGy.

Dado que es una fuente de radiación gamma (fotones), entonces  $W_R = 1$ .

Si la dosis equivalente es  $H_{\text{cuerpoentero}} = D_{\text{cuerpoentero}} \times W_R = 10 \text{ mGy} \times 1 = 10 \text{ mSv}$

Entonces la dosis efectiva será:  $E = 10 \text{ mSv} \times W_T$

Pero dado que es una irradiación de todo el cuerpo, el  $W_{\text{todoelcuerpo}} = 1$ , y  $E = 10 \text{ mSv}$ .

# Magnitudes de Protección Radiológica

Irradiación de los pulmones con radiación alfa genera una dosis absorbida (D) de 4,16 mGy.

Como es radiación alfa,  $W_R=20$

La dosis equivalente en pulmones será:  $H_{\text{pulmones}} = D_{\text{pulmones}} \times W_R = 4,16 \text{ mGy} \times 20 = 83,33 \text{ mSv}$

La dosis efectiva es:  $E = H_{\text{pulmones}} \times W_T$

Como es una irradiación de los pulmones, se considerará el  $W_{\text{pulmones}} = 0,12$

Entonces la dosis efectiva será:  $E = 83,33 \text{ mSv} \times 0,12 = 10 \text{ mSv}$ .

# Magnitudes de Protección Radiológica

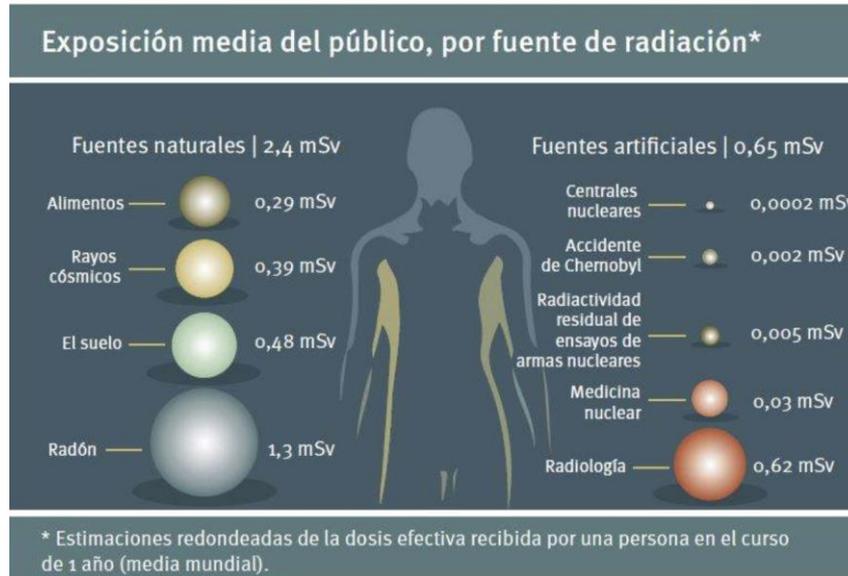
Es necesario considerar separadamente al menos tres categorías de individuos expuestos, a saber: **trabajadores**, miembros del **público** y **pacientes**.

“se define como **trabajador** a cualquier persona empleada, a tiempo parcial o total, o temporalmente, por un empleador, con derechos y obligaciones reconocidas en relación con la protección radiológica ocupacional”

“Se define como miembro del **público** a todo individuo sujeto a una exposición que no es ocupacional ni médica. A la exposición de los miembros del público contribuye y una gama de diferentes fuentes naturales y artificiales”

“Se define como **paciente** a un individuo que recibe una exposición asociada a un procedimiento diagnóstico, intervencionista, o terapéutico”

# Magnitudes de Protección Radiológica



# Magnitudes operacionales

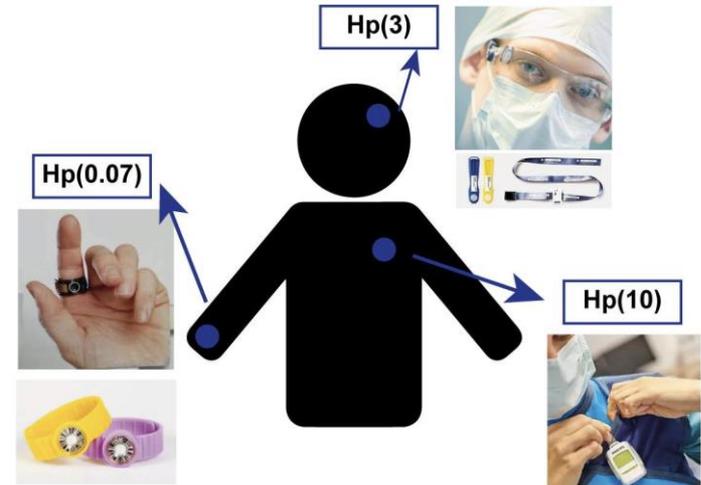
- La dosis efectiva ( $E$ ) y la dosis equivalente en órganos y tejidos ( $H_T$ ) no se pueden medir directamente. Es por ello, se desarrolló un conjunto de magnitudes de dosis operacionales para su uso en mediciones de radiaciones para la exposición externamente.
- Están destinadas a proporcionar una estimación aceptable de las magnitudes de protección en la mayoría de las condiciones de irradiación, permitiendo una evaluación práctica de la exposición potencial de los individuos a la radiación ionizante.
- La unidad de magnitudes operacionales es el **sievert (Sv)**.

Cabe resaltar que las magnitudes operacionales están específicamente definidas para la exposición externa a la radiación.

# Magnitudes operacionales

## Vigilancia individual

- Las magnitudes operaciones personales se utilizan para evaluar la dosis recibida por un individuo debido a la exposición a radiación externa. Estas magnitudes se miden mediante dosímetros personales y se utilizan para estimar la dosis efectiva recibida por el individuo.
- **Dosis equivalente Hp(10)** estima la dosis efectiva (E) en el cuerpo humano.
- **Dosis equivalente personal Hp(3)** estima la dosis equivalente al cristalino del ojo (H<sub>cristalino</sub>)
- **Dosis equivalente personal Hp(0,07)** estima la dosis equivalente a la piel local (H<sub>piel</sub>)



# Magnitudes operacionales

## Vigilancia de área y ambiental

- Las magnitudes operacionales de vigilancia de área y ambiental se utilizan para evaluar la dosis recibida por el público en general debido a la exposición a radiación externa. **Estas magnitudes se miden mediante dosímetros o detectores ambientales. Estiman el equivalente de dosis ambiental recibidos por individuos en las cercanías.**
- Ejemplos de magnitudes operacionales de vigilancia de área y ambiental incluyen  $H^*(10)$ ,  $H'(3)$  y  $H'(0,07)$ , que se utilizan para medir la dosis recibida por todo el cuerpo, el cristalino y piel, respectivamente



# Resumen

- Factor de ponderación tipo de radiación ( $W_R$ )



**DOSIS EQUIVALENTE (Sv)**

- Se define para cada órgano o tejido

- Factor de ponderación tipo de radiación ( $W_R$ )



**DOSIS EFECTIVA (Gy)**

- Se define para todo el cuerpo

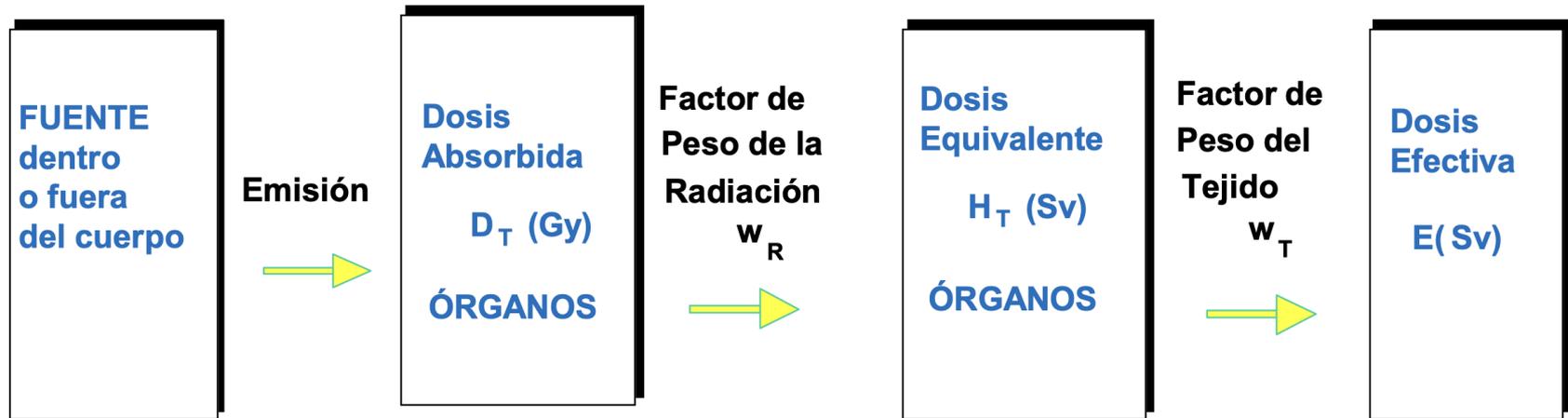
**DOSIS ABSORBIDA (Gy)**



**Nota:** Gray y Sievert se definen de la misma manera en el Sistema Internacional

**Gy(J/kg)    Sv (J/kg)**

# Resumen



**Nota:** Gray y Sievert se definen de la misma manera en el Sistema Internacional  
**Gy(J/kg)      Sv (J/kg)**

# Principios de la Protección Radiológica

- La **Protección Radiológica** se basa en un conjunto de principios que se aplican a cualquier situación de exposición, y a toda exposición a la radiación ionizante proveniente de cualquier fuente, independientemente de su tamaño y origen.

**JUSTIFICACIÓN**

**OPTIMIZACIÓN**

**LIMITACIÓN DE DOSIS**



# Justificación

*Si una o más personas estarán expuestas a la radiación, su exposición debe causar un beneficio mayor que el riesgo supuesto.*

*Si eso ocurre, la exposición a la radiación estará justificada.*

- **una situación de exposición de emergencia o una situación de exposición existente** es el proceso de determinar si una acción protectora propuesta –o una acción correctiva– es probable que, en general, sea beneficiosa. En otras palabras: si los beneficios esperados para los individuos y la sociedad de la introducción –o continuación– de la acción protectora o la acción reparadora superan el costo de dicha acción y cualquier daño o perjuicio causado por la acción.



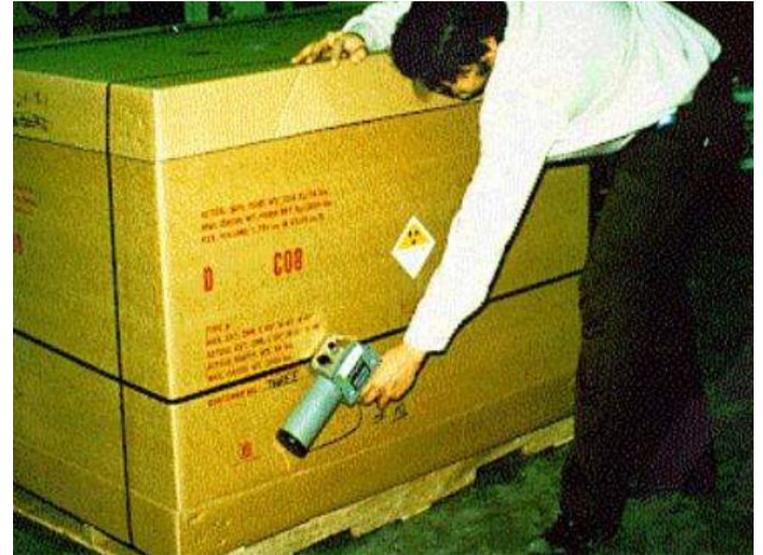
# Optimización

¿Qué significa "**optimizar**"?

En este contexto, significa que ...

- ... la probabilidad de ***incurrir en una exposición***,
- ... el ***número de personas*** expuestas, y
- ... la ***magnitud*** de sus dosis individuales ....

*...se mantengan **tan bajos como sea razonablemente posible (ALARA - siglas en inglés-)**, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.*



# Límite de Dosis

**Límite de  
Dosis  
Efectiva**

**Ocupacional**

**20 mSv por año  
como promedio en  
un periodo de 5  
años, pero que no  
exceda 50 mSv en  
cualquier año**

**Público**

**1mSv en un año**



# Límite de Dosis

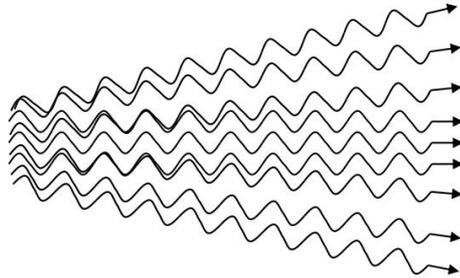
**Fuente de Radiación**



**Dosis de Cuerpo Intero < 20 mSv/ año**

# Límite de Dosis

para Mujeres Embarazadas y Menores



**Madres: Dosis Total < 2 mSv en la gestación**

**Menores 16 -18 años: Dosis < 6 m Sv/año**

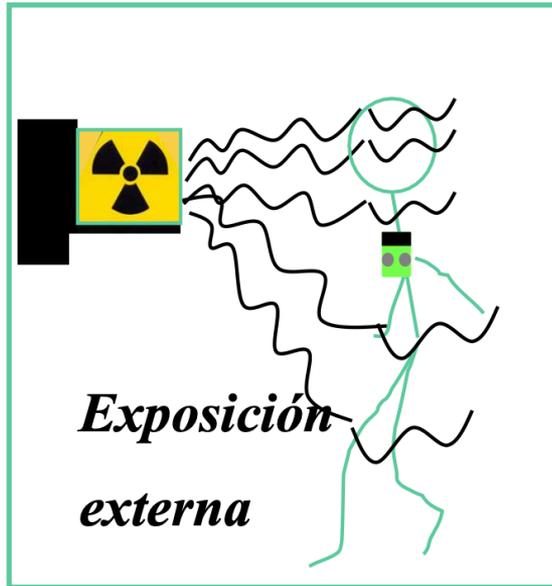
# Riesgos Radiológicos

- **RADIACIÓN:** Partículas u ondas electromagnéticas.
- **CONTAMINACIÓN:** Presencia de material radiactivo en lugares donde no es deseable

## Ejemplos: Radiación versus Contaminación



# Medidas de Protección Radiológica



Contra la exposición externa:

- TIEMPO
- DISTANCIA
- BLINDAJE

# Riesgos Radiológicos

- **RADIACIÓN:** Partículas u ondas electromagnéticas.
- **CONTAMINACIÓN:** Presencia de material radiactivo en lugares donde no es deseable

## Ejemplos: Radiación versus Contaminación





# Tiempo

Reducir el tiempo implica limitar la cantidad de tiempo que una persona pasa cerca de una fuente de radiación. Esto se puede lograr a través de varias estrategias, como programar el trabajo de manera que se minimice el tiempo de exposición, utilizar equipos de manejo remoto para limitar la necesidad de que el personal esté cerca de la fuente y rotar a los trabajadores para asegurarse de que ningún individuo esté expuesto a la fuente durante un período prolongado.

En general, reducir la cantidad de tiempo que una persona pasa en presencia de una fuente de radiación ionizante es una técnica efectiva para minimizar su exposición y reducir el riesgo de efectos adversos para la salud

Si una persona está expuesta a una fuente de radiación ionizante durante 10 minutos a una tasa de 1 mSv/h, recibirá una dosis total de 0,17 mSv. Si se reduce el tiempo de exposición a 5 minutos, la dosis total se reducirá a la mitad, es decir, a 0,085 mSv.



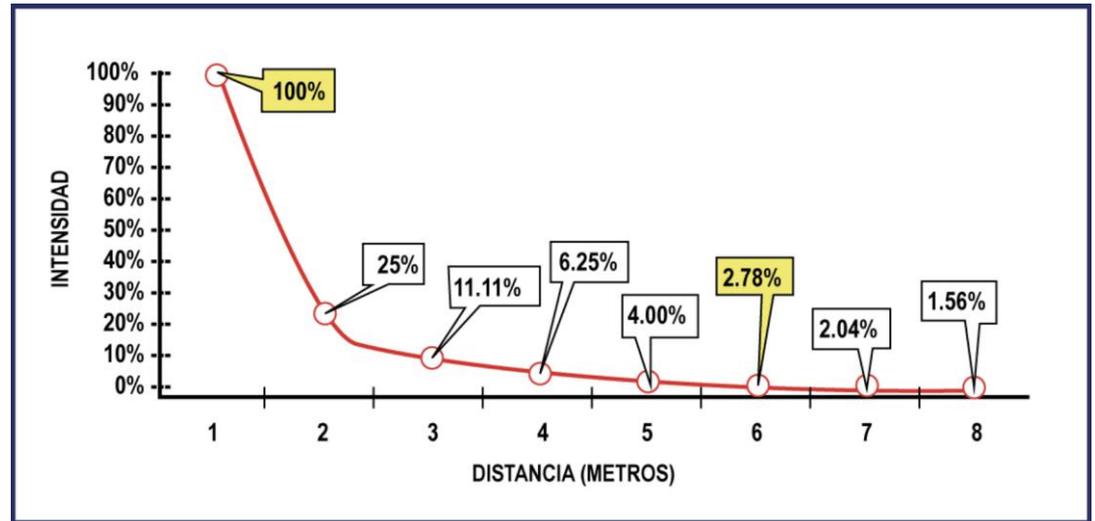
# Distancia

- "Distancia" remite a la separación física entre una fuente de radiación y una persona expuesta a ella. Cuanto mayor sea la distancia entre la fuente y la persona expuesta, menor será la dosis de radiación recibida por esta última.
- En particular, para el caso de fuentes puntuales (es decir, una fuente de radiación que emite radiación en todas las direcciones desde un punto en el espacio), se puede utilizar la ley del inverso del cuadrado de la distancia.



## Ley de Inverso cuadrado

La ley del inverso del cuadrado de la distancia es un principio físico utilizado en radioprotección para describir cómo disminuye la intensidad de la radiación ionizante a medida que un individuo se aleja de una fuente radiactiva. Esta ley establece que la intensidad de la radiación disminuye en proporción al cuadrado de la distancia desde la fuente radiactiva.





# Blindaje

- El blindaje consiste en **interponer un material** entre la fuente de radiación y la persona con el objetivo de reducir la dosis. Aquí, es necesario distinguir dos situaciones: los fotones se atenúan, mientras que las partículas cargadas se detienen por completo.



# Blindaje

- La atenuación de los fotones se refiere a la disminución gradual de la intensidad de un haz de fotones a medida que atraviesa un material.
- La atenuación se debe a varios factores como la absorción y la dispersión de fotones en el material que reduce su energía y, por lo tanto, su capacidad para penetrar el material.
- La atenuación también depende de la energía de los fotones y de la densidad y espesor del material. La radiación gamma puede ser atenuada, pero nunca se puede detener por completo.





# Distancia

- "Distancia" remite a la separación física entre una fuente de radiación y una persona expuesta a ella. Cuanto mayor sea la distancia entre la fuente y la persona expuesta, menor será la dosis de radiación recibida por esta última.
- En particular, para el caso de fuentes puntuales (es decir, una fuente de radiación que emite radiación en todas las direcciones desde un punto en el espacio), se puede utilizar la ley del inverso del cuadrado de la distancia.



# Blindaje

- Los materiales más comúnmente utilizados para blindar la radiación gamma son los de alta densidad, ya que pueden detenerlos o absorberlos. Entre ellos se encuentran:
  - **Plomo y concreto:** regularmente utilizados en la construcción de paredes y techos en instalaciones radiológicas.
  - **Acero:** utilizado en la fabricación de contenedores de transporte y almacenamiento de materiales radiactivos.
  - **Titanio:** utilizado en la fabricación de cajas fuertes de radiación gamma para proteger equipos y materiales radiactivos.
  - **Tungsteno:** utilizado en la fabricación de blindajes de radiación gamma para equipos médicos y de investigación.



# Blindaje

- Es importante tener en cuenta que la elección del material de blindaje dependerá de la energía de la radiación gamma. La atenuación de la radiación gamma sigue la **ley de atenuación exponencial**. Esta ley establece que la intensidad de la radiación disminuye de forma exponencial a medida que la radiación atraviesa un material.
- La capacidad de un material para detener por completo una partícula cargada depende de la densidad y el espesor del mismo, así como de la energía de la partícula cargada.
- Para detener partículas cargadas, se utilizan elementos de bajo número atómico ( $Z$ ) como aluminio, cobre, vidrio y plástico. En el caso particular de las partículas alfa, una simple hoja de papel puede detenerlas por completo.



## Medidas de Protección contra la exposición interna

- La prevención de la exposición interna es fundamental para evitar la incorporación de material radiactivo al cuerpo humano, ya que puede causar daño a los tejidos y órganos. La inhalación, ingestión o absorción de material radiactivo puede ocurrir durante la manipulación de sustancias radiactivas o en entornos contaminados por radiación.
- El uso de equipos de protección respiratoria, como mascarillas y respiradores, es esencial para prevenir la inhalación de material radiactivo. Estos dispositivos deben estar diseñados para filtrar partículas pequeñas y partículas radiactivas.



# Bibliografía

- OIEA (2007) – Identificación de fuentes y dispositivos radaictivos, Colección de seguridad física nuclear N5
- OIEA (2018) – Glosario de seguridad del OIEA
- ICRU report 95 (2020): Operational Quantities for External Radiation Exposure
- IPEN (2023) – Curso Intermedio de Protección Radiológica
- Miller, K. L. (1992). CRC Handbook of management of Radiation Protection Programs, second Edition (2a ed.). CRC Press.



GRACIAS!!!

Contacto:

- [samuelsaenz1119@gmail.com](mailto:samuelsaenz1119@gmail.com)
- [Shamuel.saenz.s@uni.pe](mailto:Shamuel.saenz.s@uni.pe)
- [ssaenz@ipen.gob.pe](mailto:ssaenz@ipen.gob.pe)
- [rrsaenzs@unac.edu.pe](mailto:rrsaenzs@unac.edu.pe)



**Universidad  
Nacional del Callao**

Ciencia y Tecnología del Tercer Milenio  
Universidad Licenciada, Resolución N° 171-2019-SUNEDU/CD

# CURSO - TALLER FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR



GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA MÉDICA

## 4. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO AMBIENTAL

Mg. Victor M. Viera Castillo

**FCNM  
PREGRADO**

**FACULTAD DE  
CIENCIAS  
NATURALES Y  
MATEMÁTICA**

**UNAC**

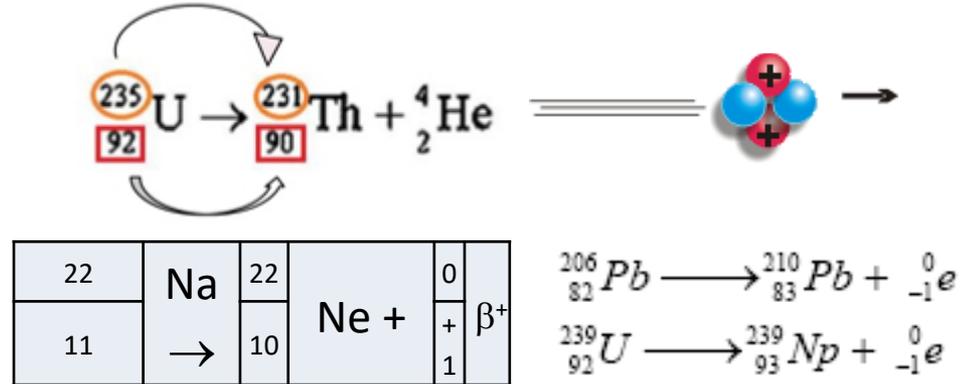
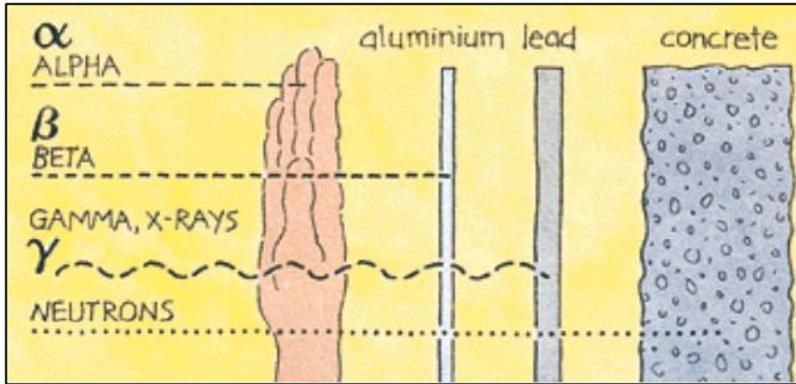
# INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO AMBIENTAL

Recordar: Emisiones radiactivas – Atenuación gamma. Radionúclidos primigenos. Formación de la tierra. Cadenas radiactivas. Análisis de las principales cadenas radiactivas naturales. Serie del torio. Serie del uranio. Serie del actinio. Serie del neptunio. El radón y sus consecuencias a la salud humana. Espectrometría nuclear básica. Análisis de espectros: K-40, Tl-208 y Bi-214. Metodología para realizar mediciones ambientales en suelos. Ejercicios diversos.

## RECORDEMOS

Las emisiones radiactivas dependen de la manera de como un núcleo se transforma en otro elemento.

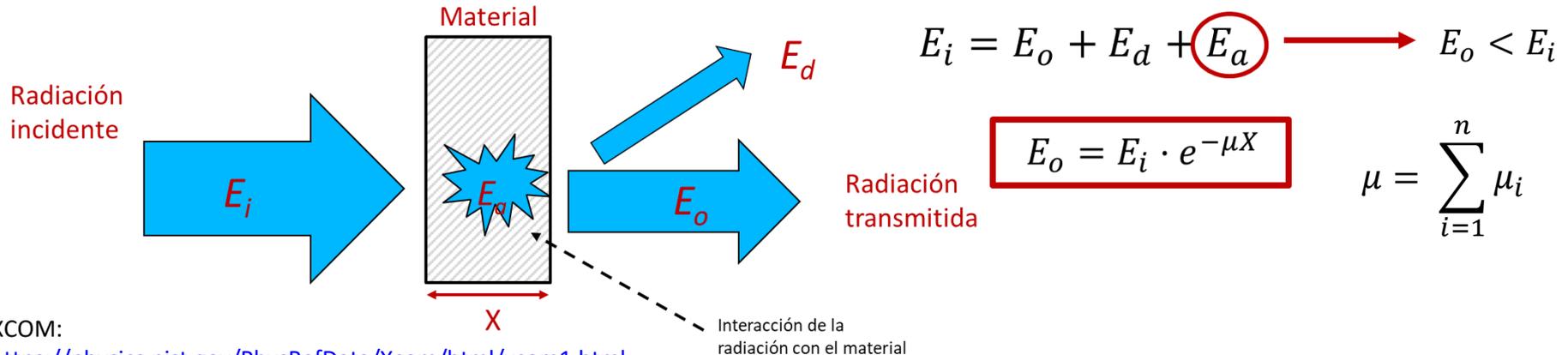
Cuando un átomo se desintegra, las partículas dentro de el (dan origen a otras partículas). Las partículas alfa, beta y gamma son las más características en un fenómeno de radiación nuclear.



## RECORDEMOS

Debido a la desintegración beta o alfa que generan estados inestables, existe la desintegración de radiación gamma “ $\gamma$ ” se emite debido a los cambios de energía del núcleo.

Debido a ello es necesario entender como es posible la atenuación de los rayos gamma al atravesar un determinado material, esta atenuación depende del tipo de radiación, energía de la radiación y material (numero atómico, densidad, estructura, etc)



XCOM:

<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>

## RADIONÚCLIDOS PRIMIGEOS

Se llaman radionúclidos primigenios a aquellos que sobreviven en la Tierra desde su formación. Esto se debe a que su semivida ( $t_{1/2}$ ) es comparable a la edad de la Tierra. Nuestro planeta nació hace 4530 millones de años. Aunque las piedras más antiguas de la Tierra tienen unos 4000 millones de años, la datación de los meteoritos, que se corresponden geológicamente con ella, permite deducir esa edad para la tierra en el Sistema Solar.

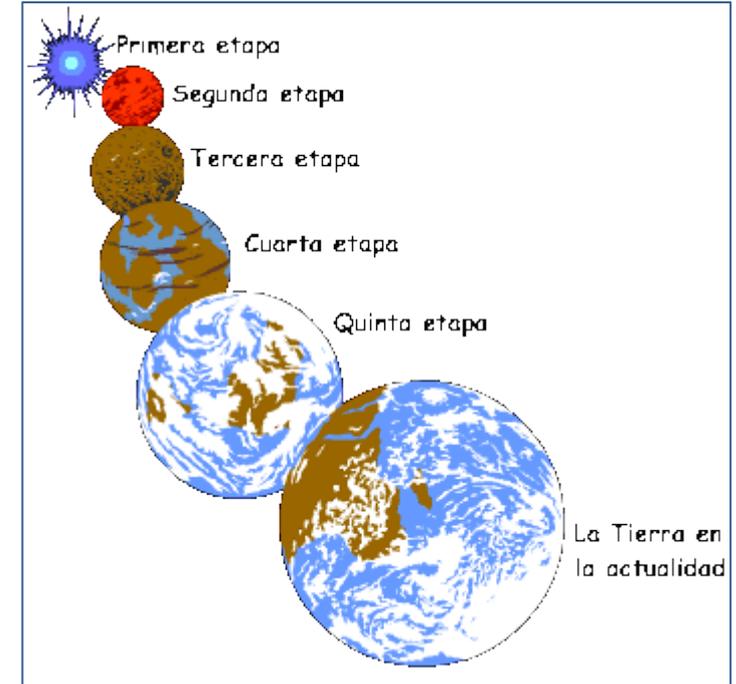
Hasta ahora se pensaba que la edad de nuestro planeta era de 4530 millones de años, pero astrónomos alemanes, suizos y británicos acaban de calcular que, en realidad, tiene entre 4400 millones y 4510 millones de años. Es decir, es entre 20 y 90 millones de años más joven de lo que se creía.

Los resultados del estudio, realizado por científicos de las universidades de Munster, Cambridge y de la Técnica de Zurich, se basan en el análisis del impacto de los choques de otros cuerpos con la Tierra (meteoritos y rocas lunares). (<https://ncse.ngo/cual-es-la-edad-de-la-tierra>)

**¿Entonces porque es importante saber la edad de la tierra?**

## FORMACIÓN DE LA TIERRA

- \* Las rocas pueden ser fechadas midiendo proporciones de isótopos: uranio/plomo, rubidio/estroncio, potasio/argón, argón/argón, y neodimio/samario.
- \* Una manera de juzgar la fiabilidad de la medición radiométrica es comparar los resultados de las diferentes técnicas para la misma muestra.
- \* Los resultados nos proporcionan una estimación de edad para la tierra entre unos 4 a 5 billones de años.
- \* "Edad de la formación de la luna, 4,527 b.a. Georgia (Kleine, et al., 2005)
- \* Las rocas lunares son un poco más jóvenes que las de la Tierra reflejando su origen como un trozo de manto de la Tierra que se arrojó en órbita durante una colisión.



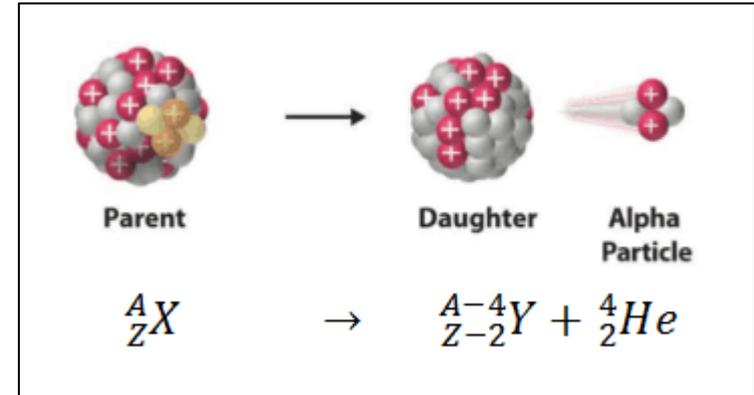
**Figura 1:** Formación de la Tierra, los elementos radiactivos que quedan son:  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{U}^{238}$ ,  $\text{Ac}^{227}$ ,  $\text{Np}^{237}$ . Son como "relojes de las rocas", son los **cronómetros de los geólogos**.

## LAS CADENAS RADIATIVAS

Las cadenas o series radiactivas, son cascadas radiactivas que se desintegran a través de una secuencia de desintegraciones alfa y beta, hasta que se logra un núcleo estable. La mayoría de radioisótopos no se descomponen directamente a un estado estable.

El desintegrante inicial es conocido como núcleo padre y después del evento de desintegración los productos o radioisótopos resultantes son conocidos como las hijas

Debido a que la desintegración alfa de un núcleo primario a una hija a través de un átomo de helio (contiene 4 nucleones), existiría por ende cuatro series de desintegración radiactiva.



## ANÁLISIS DE LAS CADENAS RADIATIVAS

Estas 4 cadenas son:



- Las más frecuentes de encontrar en la naturaleza son: **Th<sup>232</sup>** y **U<sup>238</sup>**.
- El **U<sup>235</sup>** único isótopo natural fisible, es decir, el único isótopo presente en la naturaleza con capacidad para provocar una reacción en cadena de fisión nuclear no se considera.
- Su característica de ser fisible ni siquiera el **U<sup>238</sup>** la posee.
- Fue descubierto en 1935 por Arthur Jeffrey.
- La abundancia relativa del **U<sup>235</sup>** es del 0,72 % y del **U<sup>238</sup>** es 99%.
- En esta serie está el **Ac<sup>227</sup>**
- La única serie no natural es el Np-237, ya que son producidas artificialmente.

# ANÁLISIS DE LAS CADENAS RADIACTIVAS

## ECUACIÓN DE BATEMAN

$$N_n = B_1 \cdot \exp(-\lambda_1 \cdot t) + B_2 \cdot \exp(-\lambda_2 \cdot t) + B_3 \cdot \exp(-\lambda_3 \cdot t) + \dots + B_n \cdot \exp(-\lambda_n \cdot t)$$

Donde las constantes  $B_n$ , son de la forma:

$$B_n = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n) \cdot (\lambda_2 - \lambda_n) \cdot (\lambda_3 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} \cdot N_1^0$$

## **DEMOSTRACIÓN**

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 \cdot N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 \cdot N_1 - \lambda_2 \cdot N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 \cdot N_2 - \lambda_3 \cdot N_3$$

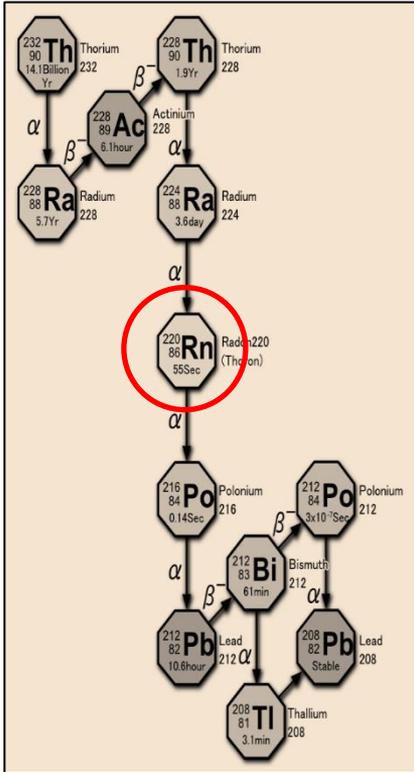
$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 \cdot N_1^0 \cdot \exp(-\lambda_1 \cdot t) - \lambda_2 \cdot N_2 \\ N_2 &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_1^0 \cdot \exp(-\lambda_1 \cdot t) + C \cdot \exp(-\lambda_2 \cdot t) \end{aligned} \right\}$$

$$= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_1^0 \cdot \exp(-\lambda_1 \cdot t) + (N_2^0 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_1^0) \cdot \exp(-\lambda_2 \cdot t)$$

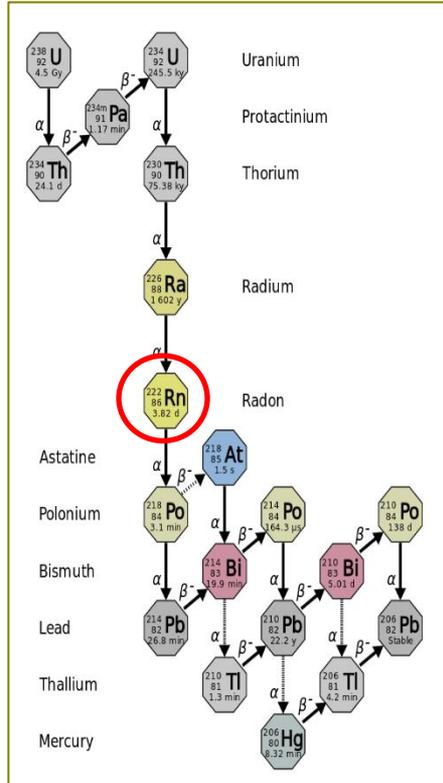
Para calcular C haremos  $t=0s$ , donde el núcleo hija en el tiempo cero es  $N_2 = N_2^0$

# ANÁLISIS DE LAS CADENAS RADIACTIVAS (55 s – 3,82 d – 3,96 s – 25 m)

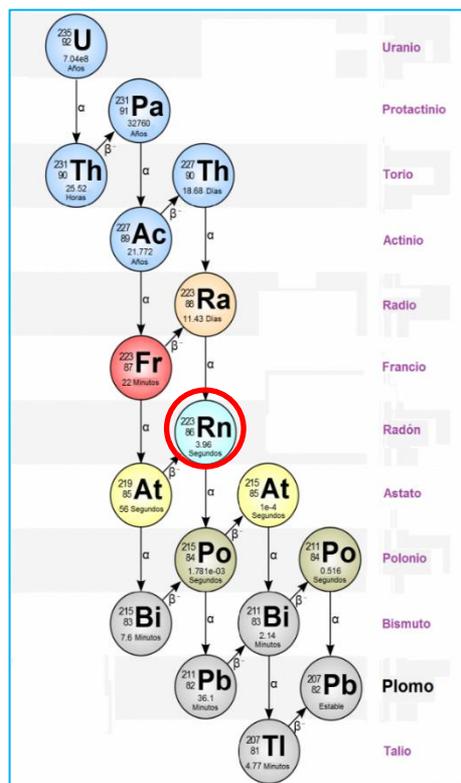
$t_{1/2} = 14\ 000$  millones de años



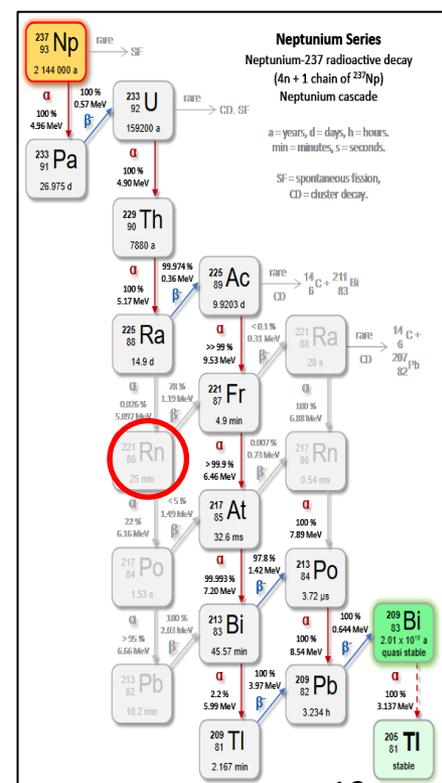
$t_{1/2} = 4\ 470$  millones de años



$t_{1/2} = 700$  millones de años

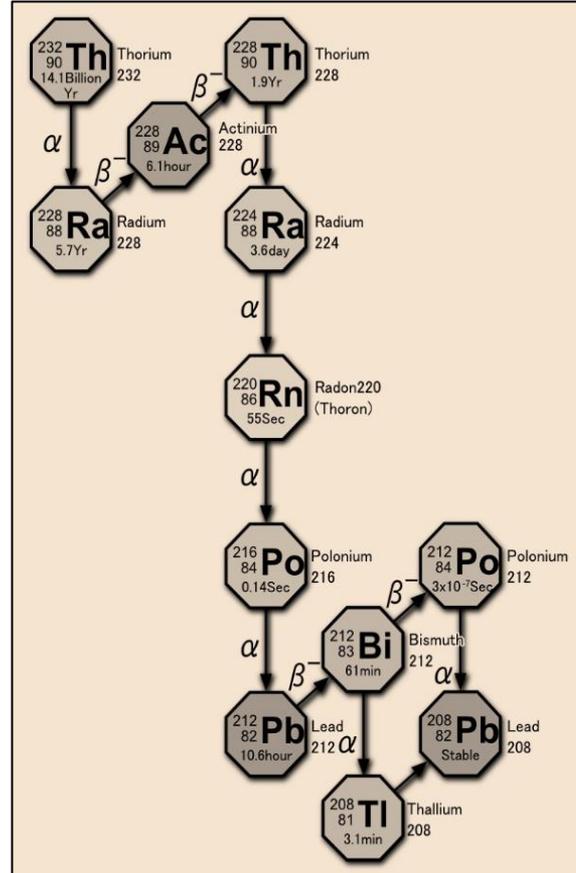


$t_{1/2} = 2$  millones de años



## SERIE DEL TORIO (4n)

- La serie comienza con el torio Th-232, siendo su núcleo estable el Pb-208.
- Como solo existe cuatro series de desintegración alfa dentro del Th-228, cada hija de está puede expresarse como “4n”
- La energía total liberada del Th-232 al Pb-208 es 42.6 MeV (Incluido los neutrinos)
- Una forma de determinarlo mediante espectrometría gamma, es considerar la emisión gamma significativa de alguna de sus hijas. Por ejemplo: Tl-208



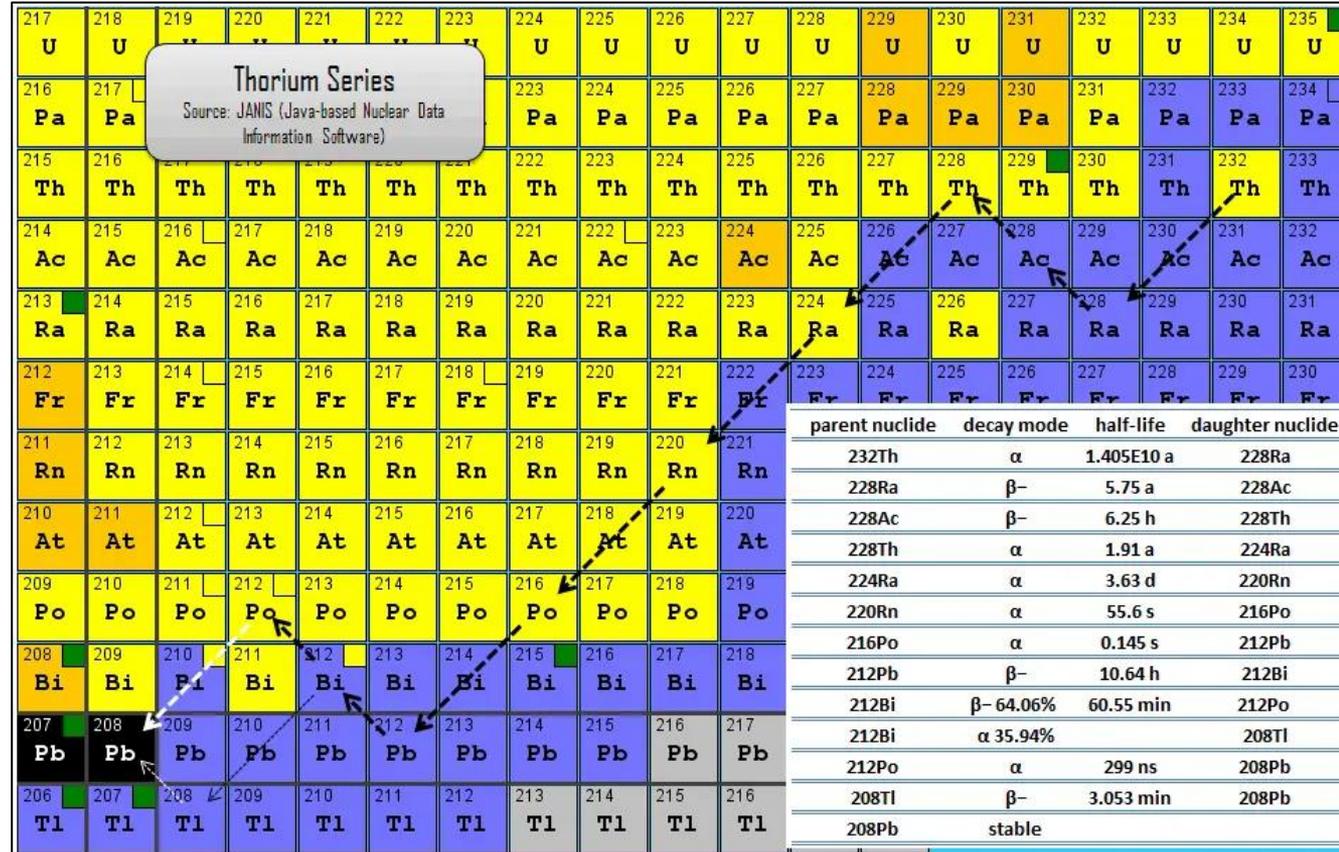
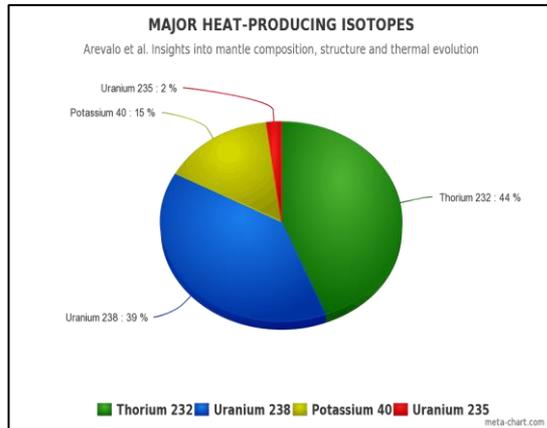
- Presenta decaimientos  $\alpha$  y  $\beta^-$ .
- Todos los elementos de su cadena son sólidos con excepción del radón 220 ( $^{220}\text{Rn}$ ) que es gaseoso y de  $t_{1/2}$  de 55seg.
- El isótopo del  $^{220}\text{Rn}$  es más conocido como torón.
- La serie termina en el  $^{208}\text{Pb}$  estable



El torio se encuentra en estado natural en los minerales **monacita**, torita y torianita.

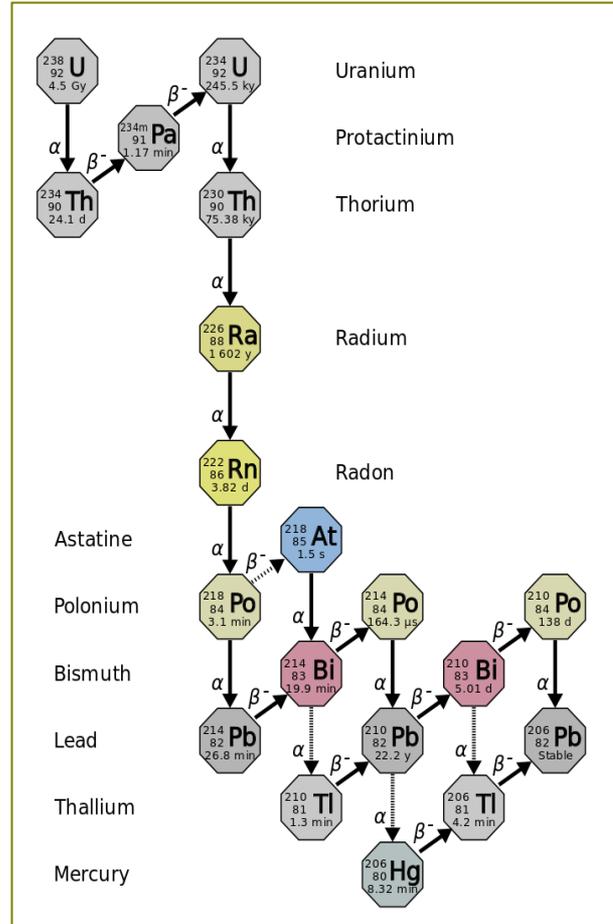
## SERIE DEL TORIO (4n)

El torio junto con el uranio y el potasio-40 en el manto de la tierra, serian la principal fuente de calor que mantiene liquido el núcleo de la tierra



## SERIE DEL URANIO (4n+2)

- Todos los elementos de su cadena son sólidos con excepción del radón  $^{222}\text{Rn}$  que es gaseoso y de  $t_{1/2}$  igual a 3.82 días.
- La serie termina en el  $^{206}\text{Pb}$  estable.
- En la naturaleza se presenta en muy bajas concentraciones (ppm) en rocas, tierras, agua y en los seres vivos.
- El uranio debe ser extraído y concentrado a partir de minerales que lo contienen, como por ej. la Uranitita y otros.
- El uranio natural está formado por 3 tipos de isótopos:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{234}\text{U}$ .
- De cada gramo de uranio natural el 99,284 % de la masa es  $^{238}\text{U}$ , el 0,711 %  $^{235}\text{U}$  y el 0,0085 %  $^{234}\text{U}$ .
- La relación  $^{238}\text{U} / ^{235}\text{U}$  es constante en la corteza terrestre, salvo ciertas excepciones, como ocurre en los yacimientos de Oklo (Gabón-Africa) donde hay evidencias de que hace unos 2000 millones de años se produjeron reactores nucleares naturales



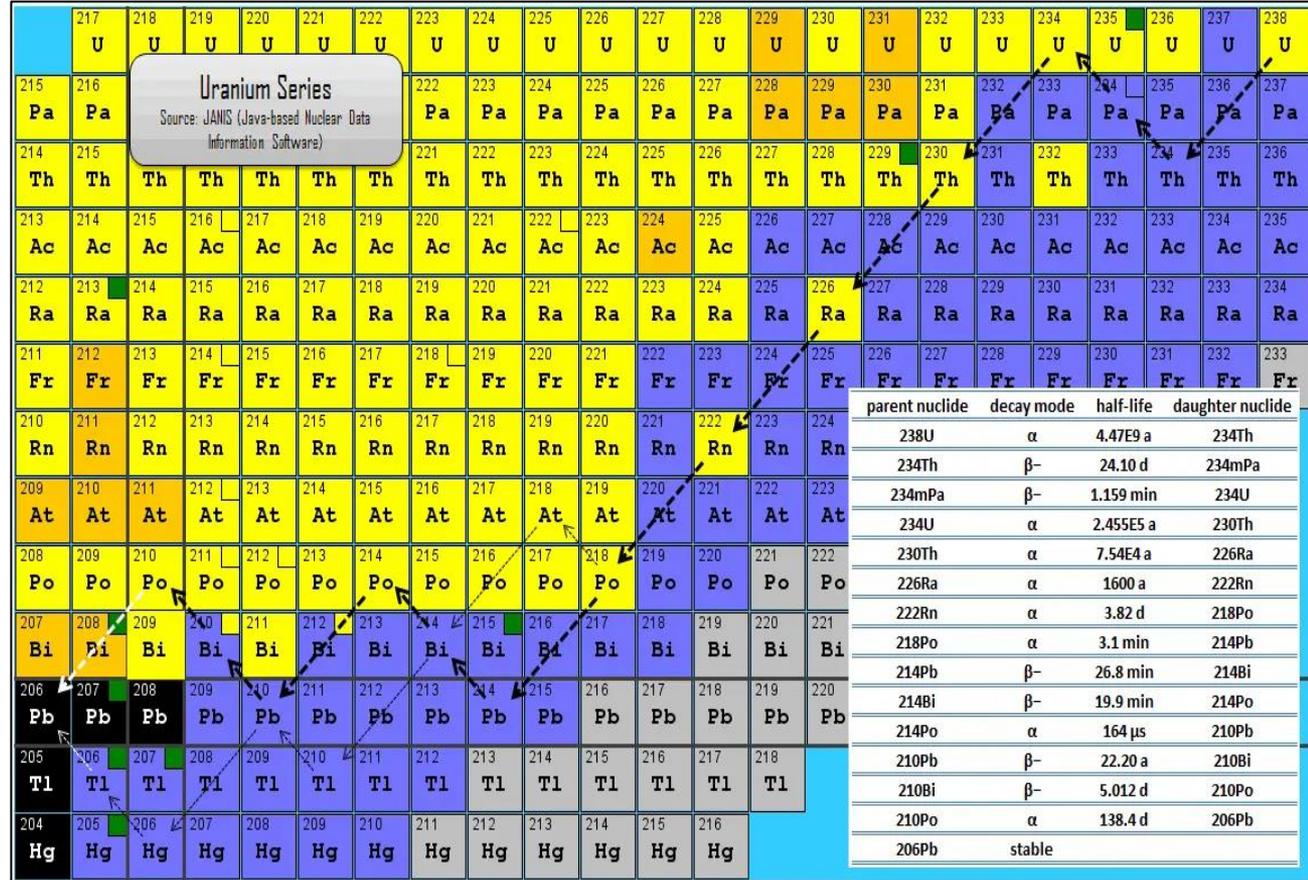
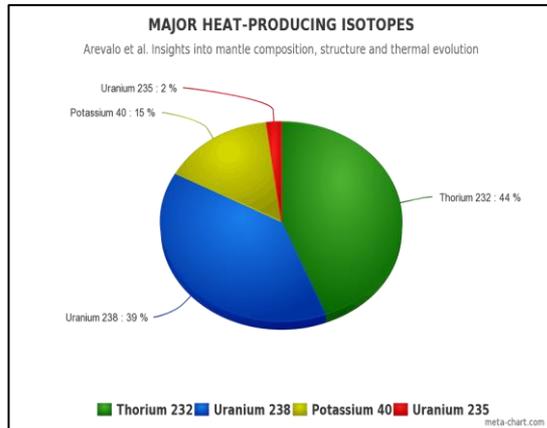
- La serie comienza con el uranio U-238, siendo su núcleo estable el Pb-206.
- Como solo existe cuatro series de desintegración alfa dentro del U-234, cada hija de está puede expresarse como “4n+2”
- La energía total liberada del U-238 al Pb-206 es 51.7 MeV (Incluido los neutrinos)
- Una forma de determinarlo mediante espectrometría gamma, es considerar la emisión gamma significativa de alguna de sus hijas. Por ejemplo: Ra-226



El uranio se encuentra en estado natural en los minerales **uraninita**, torbenita y autunita.

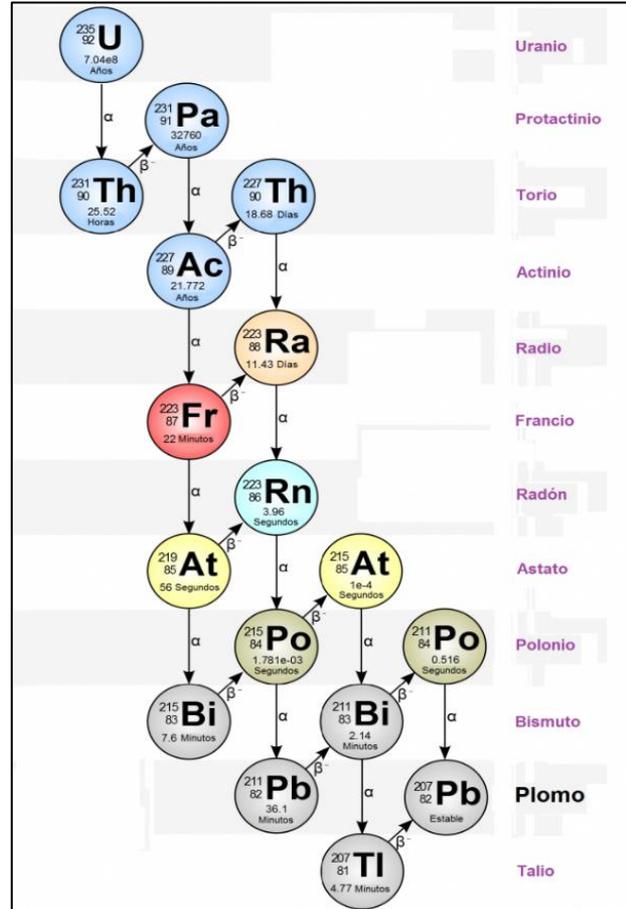
## SERIE DEL URANIO ( $4n+2$ )

El uranio-238 puro es débilmente radiactivo (proporcional a su larga vida media). Aun así, el mineral de uranio es aproximadamente 13 veces más radiactivo que el uranio metálico puro-238 debido a los isótopos hijos que contiene (por ejemplo, radón, radio, etcétera)



## SERIE DEL ACTINIO ( $4n+3$ )

- Esta presente en la cadena de  $^{235}\text{U}$ .
- Presenta decaimientos  $\alpha$  y  $\beta^-$ .
- Todos los elementos de su cadena son sólidos con excepción del radón 219 ( $^{219}\text{Rn}$ ) que es gaseoso y de  $t_{1/2}$  igual a 3.96seg.
- La serie termina en el  $^{207}\text{Pb}$  estable.
- Es una de las tierras raras y da nombre a una de las series, la de los actínidos.
- Es un metal radiactivo blando que reluce en la oscuridad.
- Se conocen los isótopos con número másico entre 209 y 234, siendo el más estable el  $^{227}\text{Ac}$  que tiene un  $t_{1/2}$  de 21,7 años
- El  $^{227}\text{Ac}$  se encuentra en el uranio natural  $^{235}\text{U}$  en una proporción del orden del 0,175% y el  $^{228}\text{Ac}$  también se encuentra en la naturaleza.



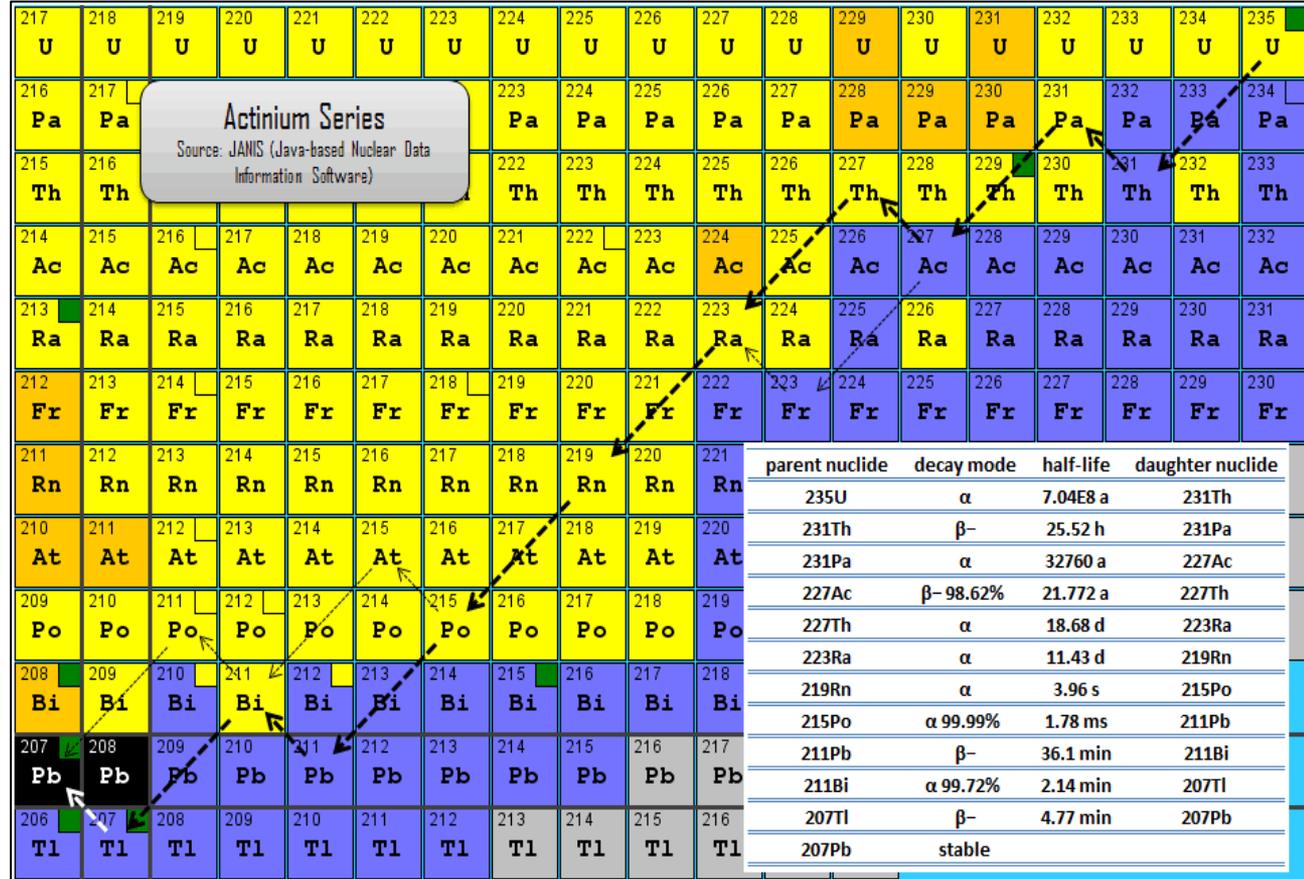
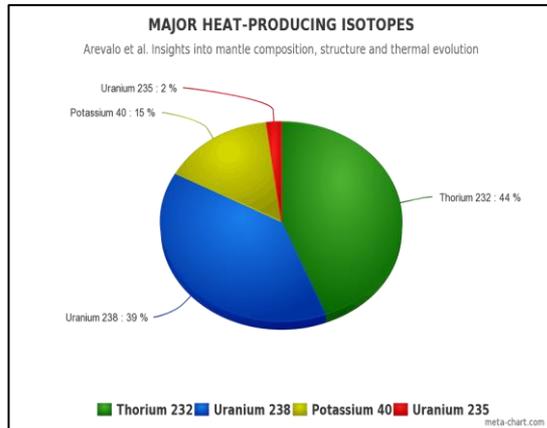
- La serie comienza con el uranio U-235, siendo su núcleo estable el Pb-207.
- Como solo existe cuatro series de desintegración alfa dentro del Pa-231, cada hija de está puede expresarse como “ $4n+3$ ”
- La energía total liberada del U-235 al Pb-207 es 46.4 MeV (Incluido los neutrinos)
- El actinio es un metal suave, de color plateado que brilla de azul pálido en la oscuridad porque la radioactividad ioniza el aire. El actinio reacciona con la humedad y el oxígeno para formar una capa blanca de óxido de actinio que protege el metal subyacente de una mayor oxidación



Mineral de actinio

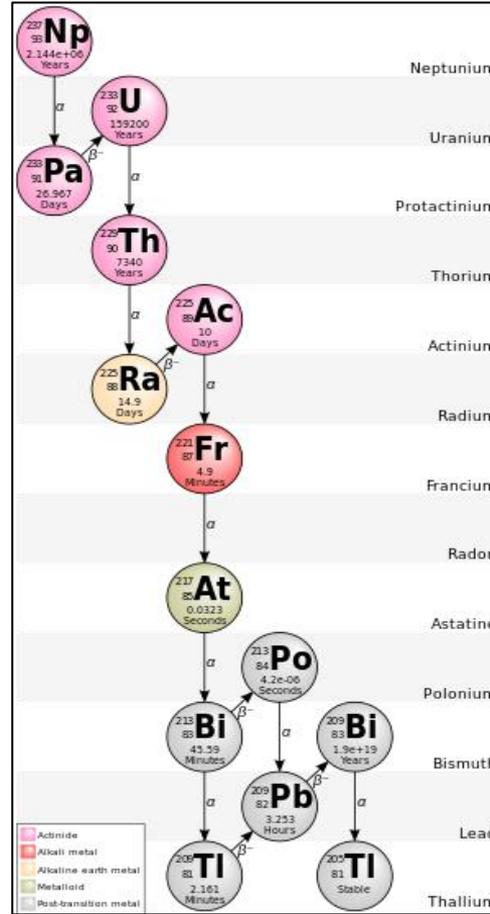
## SERIE DEL ACTINIO ( $4n+3$ )

El uranio-235, que por sí solo constituye el 0,72% del uranio natural, tiene una vida media de  $7,04 \times 10^8$  años (6,5 veces más corto que el isótopo 238); por lo tanto, su abundancia es menor que  $^{238}\text{U}$  (99.28%)



## SERIE DEL NEPTUNIO

- El  $^{237}\text{Np}$  debería haberse extinguido, pero las pruebas nucleares realizadas y los accidentes nucleares lo han liberado y por lo tanto esta serie ha vuelto aparecer.
- La cadena del  $^{237}\text{Np}$  se llama comúnmente la "serie neptunio". En esta serie, sólo 2 de los isótopos que participan se encuentran naturalmente, los de bismuto ( $^{213}\text{Bi}$ ) y talio ( $^{209}\text{Tl}$ ).
- En un detector de humo que contiene  $^{241}\text{Am}$  y en una cámara de ionización se acumula una cantidad significativa de  $^{237}\text{Np}$  como sus descendientes.
- También están presentes en ella, al menos transitoriamente, como productos de desintegración del  $^{237}\text{Np}$ : actinio, astato, bismuto, francio, el plomo, el polonio, protactinio, radio, talio, torio y uranio (isótopos de estos elementos).
- El  $^{237}\text{Np}$  forma parte del grupo de los actínidos.
- Todos los isótopos del grupo de los actínidos, entre los que se encuentra el  $^{237}\text{Np}$ , son radiactivos.
- El estado del  $^{237}\text{Np}$  en su forma natural es sólido, de aspecto plateado metálico.



- La serie comienza con el uranio Np-237, siendo su núcleo estable el Tl-205.
- Como solo existe cuatro series de desintegración alfa dentro del Ac-225, cada hija de está puede expresarse como "4n+1"
- La energía total liberada del Np-237 al Tl-205 es 50.0 MeV (Incluido los neutrinos)
- Los radionúclidos de esta serie se pueden encontrar en algunos tipos de detectores de humo. Los detectores de humo por ionización generalmente usan un radioisótopo, generalmente americio-241, para ionizar el aire y detectar humo. En este caso, el americio-241 se desintegra en neptunio-237 y, de hecho, es un miembro de la serie del neptunio

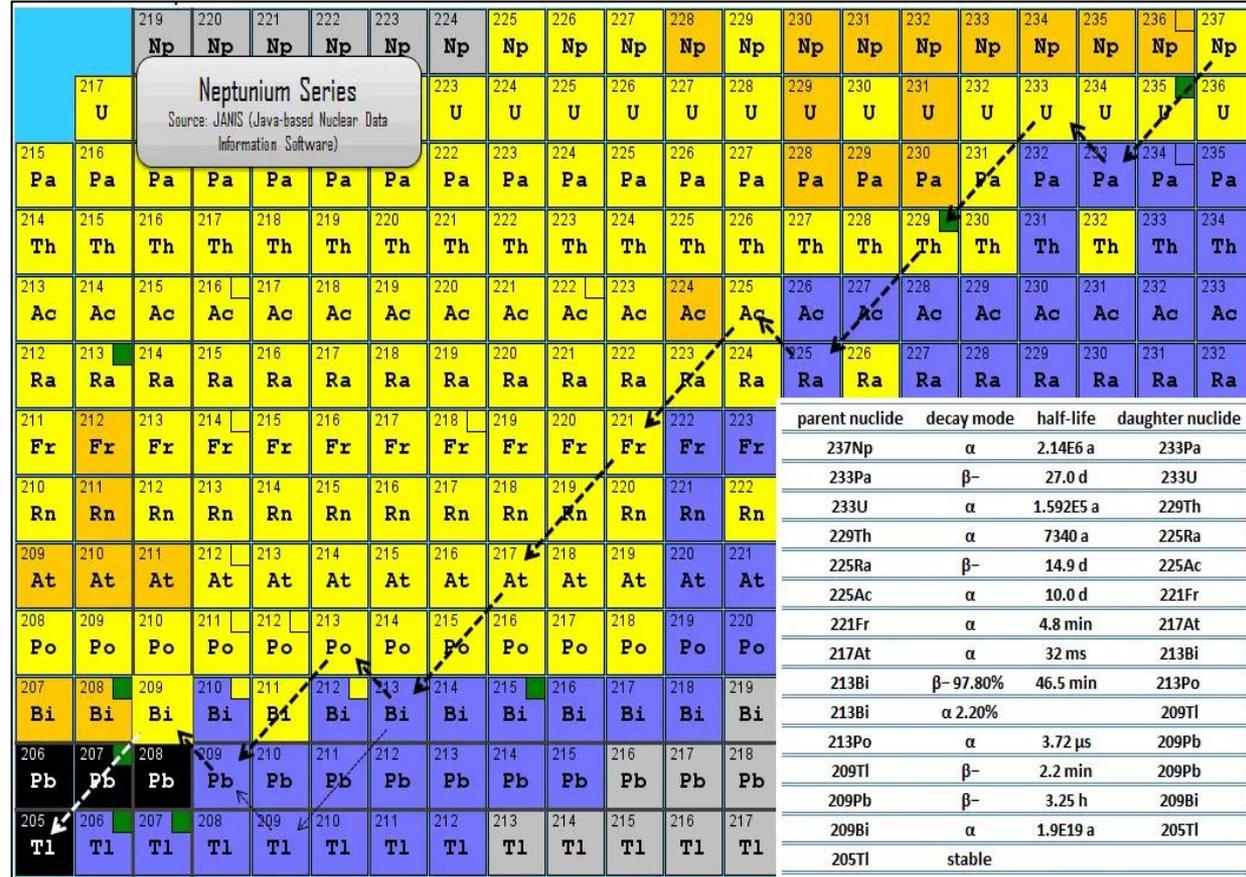


Detectores de humo con Am-241

## SERIE DEL NEPTUNIO (4n+1)

Los accidentes nucleares, no son muy frecuentes pero contribuyen al aumento del neptunio Np-237 a nivel mundial. Los fragmentos de fisión generados por los combustibles de los reactores poseen este radioisótopo.

<https://youtu.be/oYiuCRxIjfo?si=hrx4k530UmgfUs7Q>



## EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

El gas radón (Rn) es emitido por el radio (Ra), y se encuentra asociado con el uranio (U), originalmente en las rocas y también en los materiales de construcción. Si el radón se desintegra en la atmósfera, los isótopos radiactivos que resultan se adhieren a las partículas de polvo.

El radón tiene una vida media de 3,8 días, la mayoría del radón que se forma bajo la tierra se vuelve a descomponer y se convierte en sólido antes de que tenga ocasión de salir fuera de la superficie terrestre. Los isótopos del radón se descomponen en los siguientes emisores de tipo Gamma:

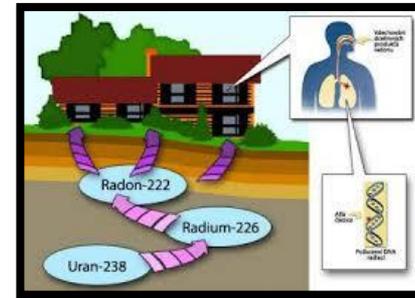
Radio B (Pb, peso atómico: 214, vida media: 26.8 minutos)

Radio C (Bi, peso atómico: 214, vida media: 19.7 minutos)

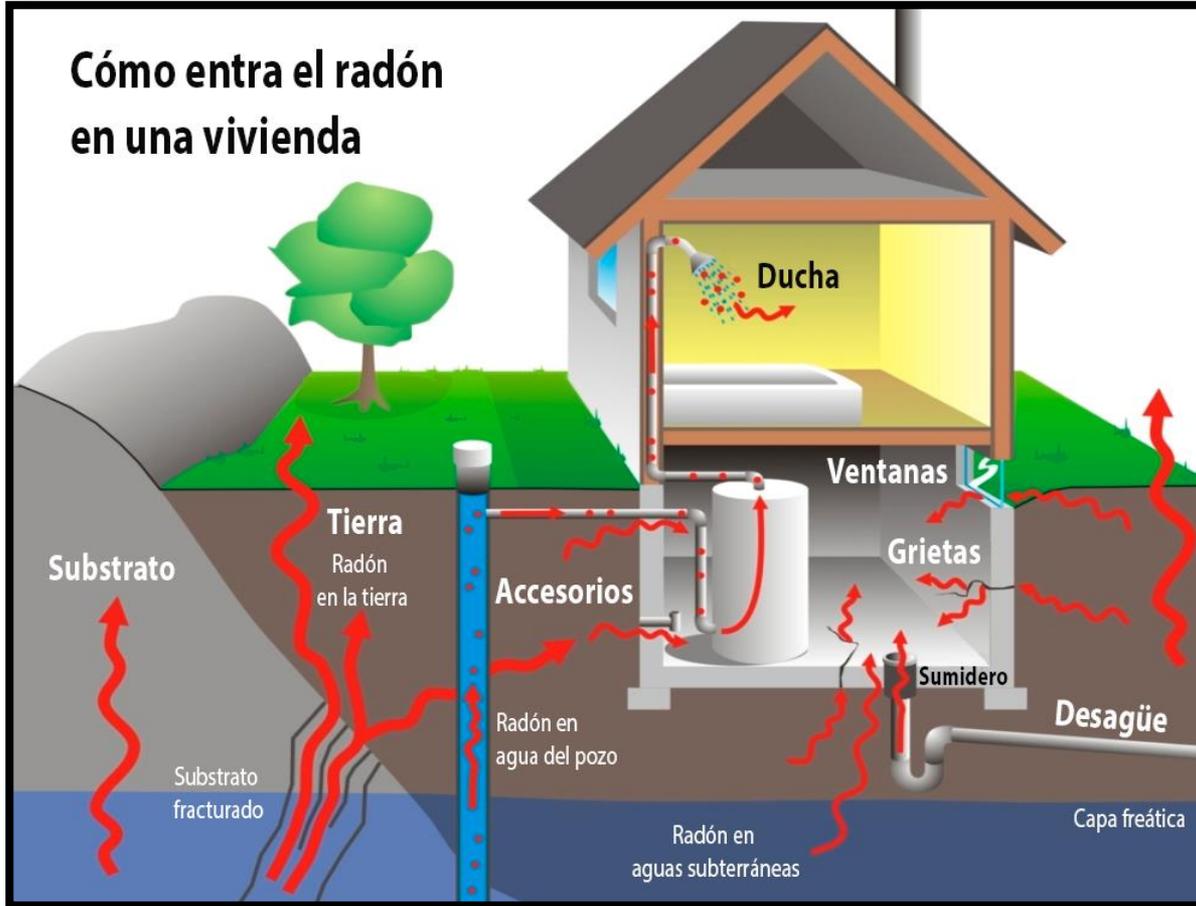
Radio C (Po, peso atómico: 214, vida media:  $1.5 \times 10^{-4}$  segundos)

Radio D (Pb, peso atómico: 210, vida media: 22 años)

Radio E (Bi, peso atómico: 210, vida media: 5 días)



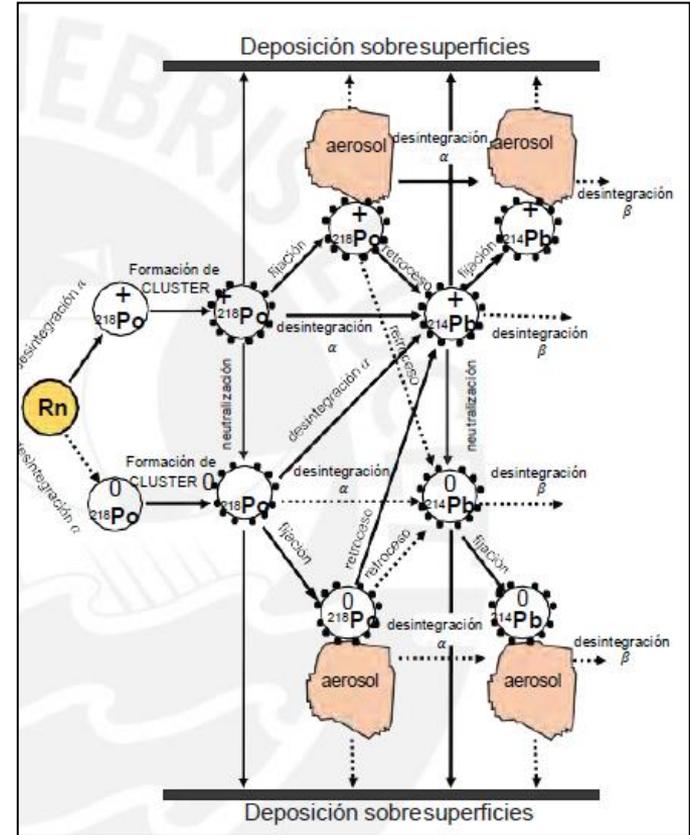
El Radón puede pasar al interior de la casa a través de grietas o aberturas en su sótano o cimientos, y alcanzar concentraciones peligrosas. El peligro es debido a que los productos de descomposición emitidos por el radón se adhieren a las partículas de polvo. Son altamente radiactivos y pueden alojarse dentro del cuerpo, cuando inhalamos polvo contaminado (progenie). Una vez alojados dentro del cuerpo pueden permanecer allí mucho tiempo (Radio D), sometiendo a las células que circundan las partículas a un bombardeo constante de radiación ionizante. Esto destruye y daña el tejido, desencadenando cáncer de pulmón.



## EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

El Rn-222 ingresa por viviendas por diferentes vías, los niveles de este gas depende esencialmente del material utilizado para la construcción de las viviendas.

La presencia del radón, torón y su progenie (átomos de los que se desintegra el Rn222) de vida corta son los principales contribuyentes en la dosis absorbida por la exposición a fuentes naturales . La progenie puede formar “CLUSTER” (AGRUPACIONES) debido a su unión con partículas de polvo o aerosoles



Proceso del Po-218 y Pb-214 en el aire

## EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

### Limites permisibles de la concentración de Radón 222 en indoor.

El gas Radón se desintegra quedando **sus productos de decaimiento radiactivos** (hijas), que **pueden quedar atrapadas en los pulmones cuando se respira**. A medida que se desintegran estos productos de decaimiento liberan partículas. Estas puede dañar el tejido pulmonar y dar lugar al cáncer de pulmón en el transcurso de toda una vida.

Al igual que otros contaminantes ambientales, existe cierta incertidumbre acerca de la magnitud de los riesgos para la salud relacionados con el Radón 222. Las estimaciones de los riesgos del Radón se basan en estudios de cáncer en los seres humanos (estudio en los mineros subterráneos). Combinado con el Radón 222 **fumar es un riesgo para la salud**, especialmente grave. Es por ello que organizaciones tanto en Europa como en USA han dado recomendaciones y límites de la concentración del Radón en interiores; en USA el límite máximo aconsejable es de 4 pCi/L (148 Bq/m<sup>3</sup>)

## EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

Nivel de Radón	Si fueron 1000 personas fumadoras fueron expuestas	El riesgo de cáncer por radón se compara con	Que debemos hacer: para de fumar y ...
20 pCi/L	Cerca de 260 personas pueden tener cáncer de pulmón	250 veces el riesgo de ahogarse	Limpiar tu casa
10 pCi/L	Cerca de 150 personas pueden tener cáncer de pulmón	200 veces de morir en un incendio casero	Limpiar tu casa
8 pCi/L	Cerca de 120 personas pueden tener cáncer de pulmón	30 veces el riesgo de morir en una caída	Limpiar tu casa
4 pCi/L	Cerca de 62 personas pueden tener cáncer de pulmón	5 veces el riesgo choque automovilístico	Limpiar tu casa
2 pCi/L	Cerca de 32 personas pueden tener cáncer de pulmón	6 veces el riesgo de morir envenenado	(Nivel de radón estable)
1.3 pCi/L	Cerca de 20 personas pueden tener cáncer de pulmón	(Promedio de interiores nivel de radón)	(Nivel de radón estable)
0.4 pCi/L	***	(Niveles por debajo)	(Nivel de radón estable)

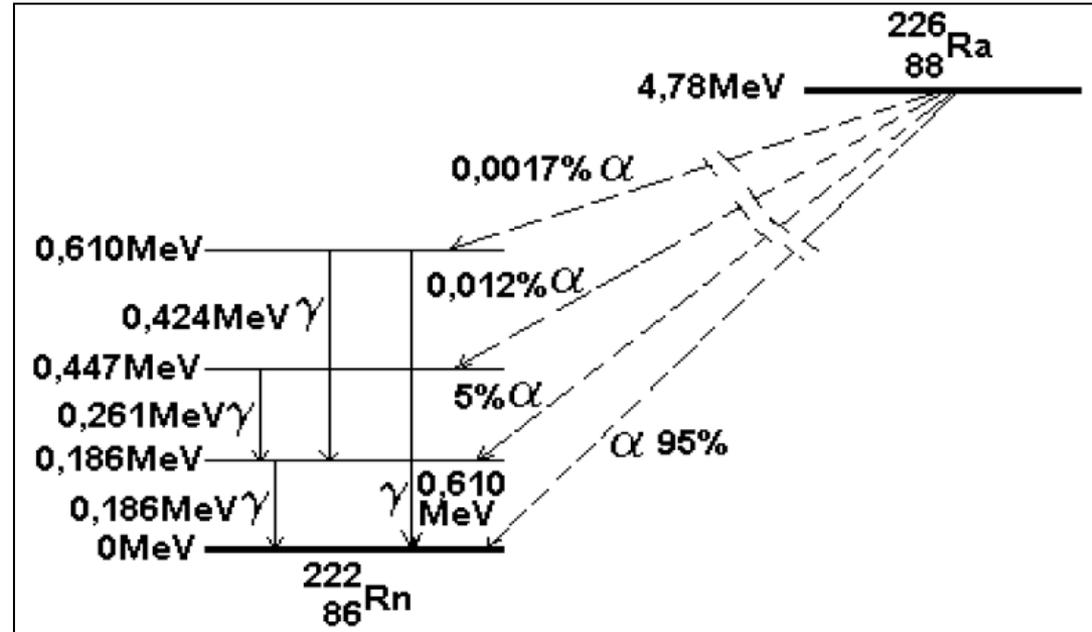
## EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

Nivel de Radón	Si fueron 1000 personas no fumadoras fueron expuestas	El riesgo de cáncer por radón se compara con	Que debemos hacer: para de fumar y ...
20 pCi/L	Cerca de 36 personas pueden tener cáncer de pulmón	35 veces el riesgo de ahogarse	Limpiar tu casa
10 pCi/L	Cerca de 18 personas pueden tener cáncer de pulmón	20 veces de morir en un incendio casero	Limpiar tu casa
8 pCi/L	Cerca de 15 personas pueden tener cáncer de pulmón	4 veces el riesgo de morir en una caída	Limpiar tu casa
4 pCi/L	Cerca de 07 personas pueden tener cáncer de pulmón	El riesgo de morir en un choque automovilístico	Limpiar tu casa
2 pCi/L	Cerca de 04 personas pueden tener cáncer de pulmón	El riesgo de morir envenenado	(Nivel de radón estable)
1.3 pCi/L	Cerca de 02 personas pueden tener cáncer de pulmón	(Promedio de interiores nivel de radón)	(Nivel de radón estable)
0.4 pCi/L	***	(Niveles por debajo)	(Nivel de radón estable)

# EL RADÓN Y SUS CONSECUENCIAS

## Desintegración alfa del gas radón

El gas Radón tiene varios radioisótopos el Rn 222, Rn 220, Rn 219 además de otros isotopos, de las cuales el mas abundante y de mayor periodo de semidesintegracion (3.82 dias) es el Rn 222, cuyo padre es el Ra 226 (1602 años) tanto padre e hijo sufren decaimiento alfa a continuación se muestra un diagrama de niveles de la desintegración alfa del Ra 226 al Rn 222.



Desintegración del Ra-226

## ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

### DETECTOR DE CENTELLEO

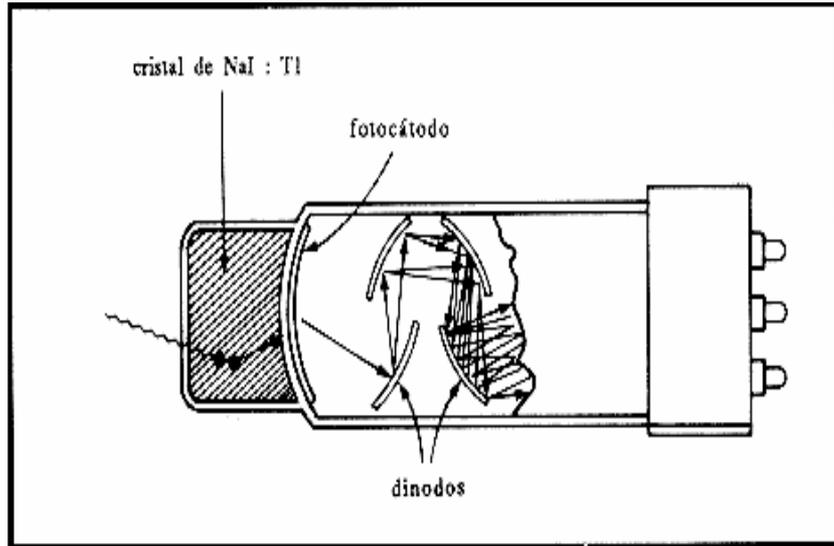
Permite medir la radiación gamma, mediante su conversión en energía luminosa producida en el centellador. Esto debido al red cristalina presente en el centellador. El detector centellador mas habitual es el de NaI (Ioduro de Sodio). El tubo multiplicador convierte la energía lumínica en impulso eléctrico; mediante el efecto fotoeléctrico.

### DETECTOR DE GeHP

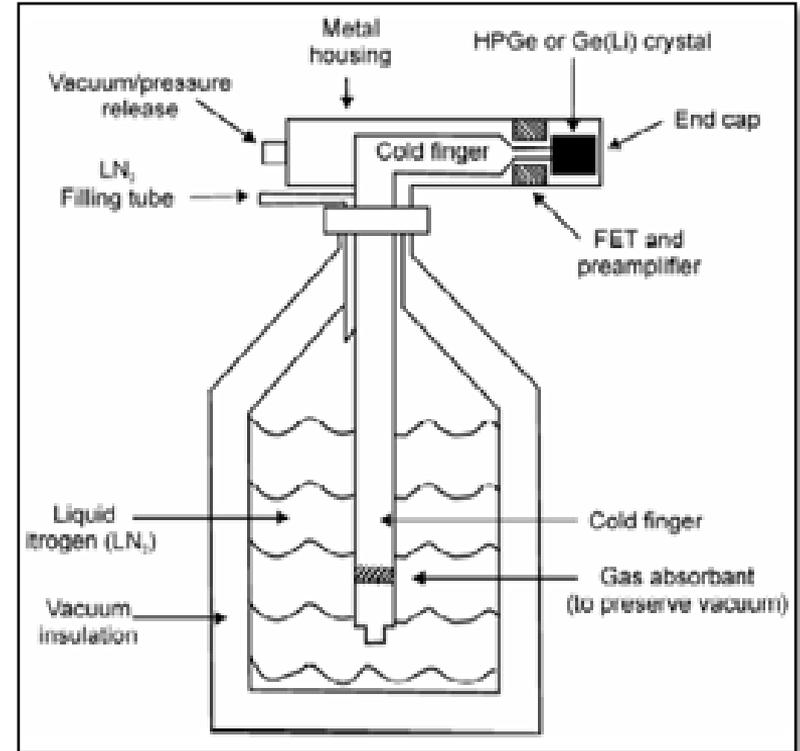
Es un detector que consiste de un semiconductor (HPGe), donde las propiedades físicas son descritas mediante las estructuras de bandas del solido. (Banda de valencia y banda de conducción). El ancho de banda prohibida es relativamente pequeño, lo que provoca la migración de portadores de carga que ocasionan que el cristal semiconductor tenga relativa eficiencia. Poseen una estructura muy compacta y una resolución alta del espectro energético. Pero requiere de enfriamiento y su costo es excesivo y muy delicado.

## ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

### DETECTOR DE CENTELLEO



### DETECTOR DE GeHP



# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## Sustancias Luminiscentes

La cualidad fundamental de toda sustancia luminiscente que se emplea en un detector es su eficiencia de absorción de energía de la partícula o fotón a detectar. Las sustancias luminiscentes suelen ser cristales inorgánicos o bien compuestos orgánicos en forma cristalina o en forma de disolución.

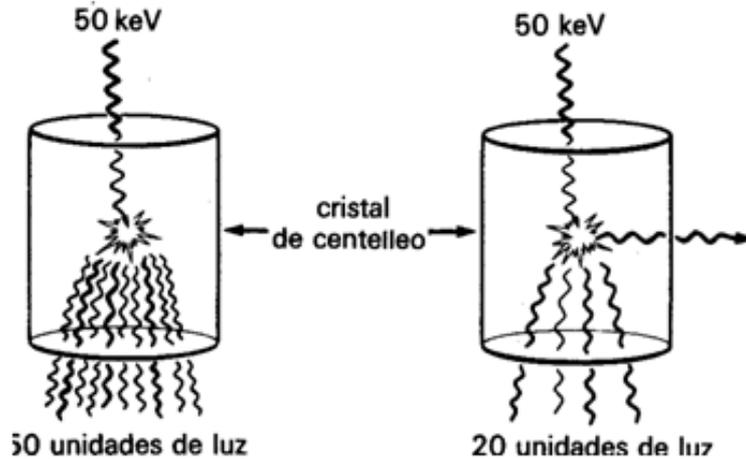


TABLA 4-1. Características de las principales sustancias luminiscentes empleadas en detectores de centelleo

Sustancia	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Longitud de onda de máxima emisión (en Å)	Eficiencia relativa para rayos β	Constante de tiempo de caída de luminiscencia (μs)	Disposición
Antraceno ... ..	1,25	4.450	1	0,025	Cristales grandes no muy claros.
Naftaleno ... ..	1,15	3.450	0,25	0,075	Buenos cristales.
NaI (Tl) ... ..	3,67	4.100	2	0,25	Cristales excelentes, aunque higroscópicos.
SZn(Ag) ... ..	4,1	4.500	2	1	Pequeños cristales de poca transparencia.
p-Terfenilo en xileno ... ..	0,87	3.700	0,48	0,007	Disolución líquida.
Terfenilo en polistireno ... ..	1,06	4.000	0,30	0,005	Plástico.

# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## Semiconductores

En un detector los electrones libres producen excitaciones electron-hueco ( $e^-/h^+$ ) que se mueven libremente en el sólido y se recolectan en el ánodo y cátodo.

semi-conductor	density [g/cm <sup>3</sup> ]	Z	$E_{\text{gap}}$ [eV]	$\epsilon$ [eV]	$X_0$ [cm]
Si	2.33	14	1.12	3.6	9.37
Ge	5.33	32	0.67	2.9	2.30
CdTe	5.85	48,52	1.44	4.43	1.52
CdZnTe	5.81		1.6	4.6	
HgI <sub>2</sub>	6.40	80,53	2.13	4.2	1.16
GaAs	5.32	31, 33	1.42	4.3	2.29

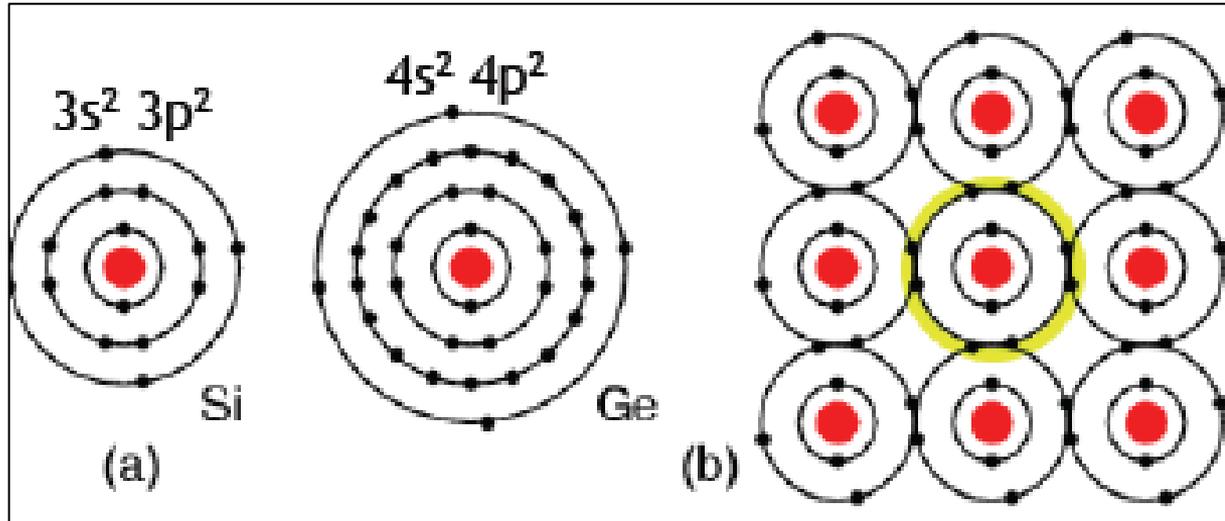
$E_{\text{gap}}$	:	band gap energy
$\epsilon$	:	an ionization potential
$X_0$	:	radiation length

Fuente :<http://www.fisica.unlp.edu.ar/materias/radioactividad/8-deteccion-de-la-radiacion.pdf>

# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## Semiconductores

El Si y el Ge tienen 4 electrones que pueden completarla formando 4 enlaces covalentes. Si un  $e^-$  se mueve a la capa de conducción deja un hueco y ambos se mueven.

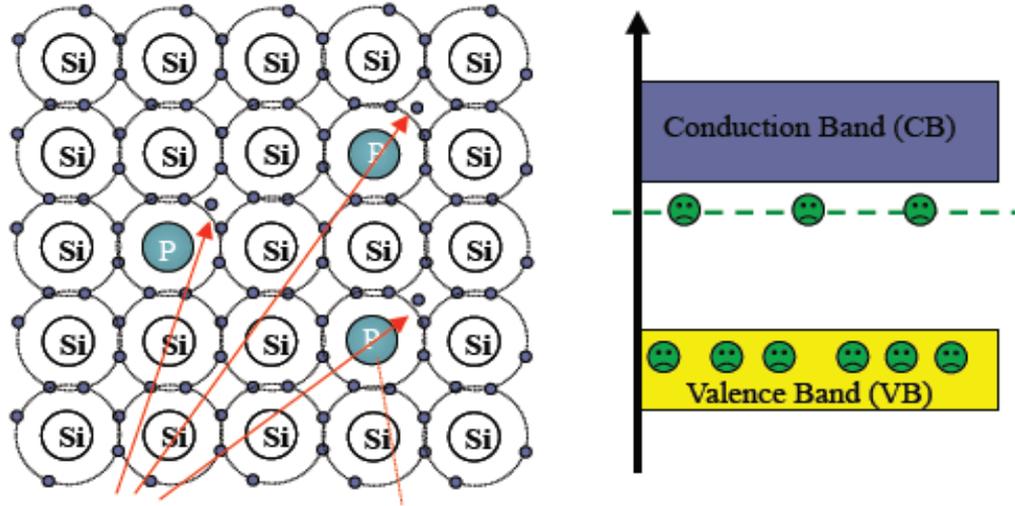


Estructura electrónica Si/Ge. Fuente :[http://www.learningelectronics.net/vol\\_3/chpt\\_2/3.html](http://www.learningelectronics.net/vol_3/chpt_2/3.html)

# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## Semiconductores

El material semiconductor puede ser dopado con impurezas que aporten  $e^-$  extra o huecos extra, entonces se puede mencionar al semiconductor tipo n o tipo p.



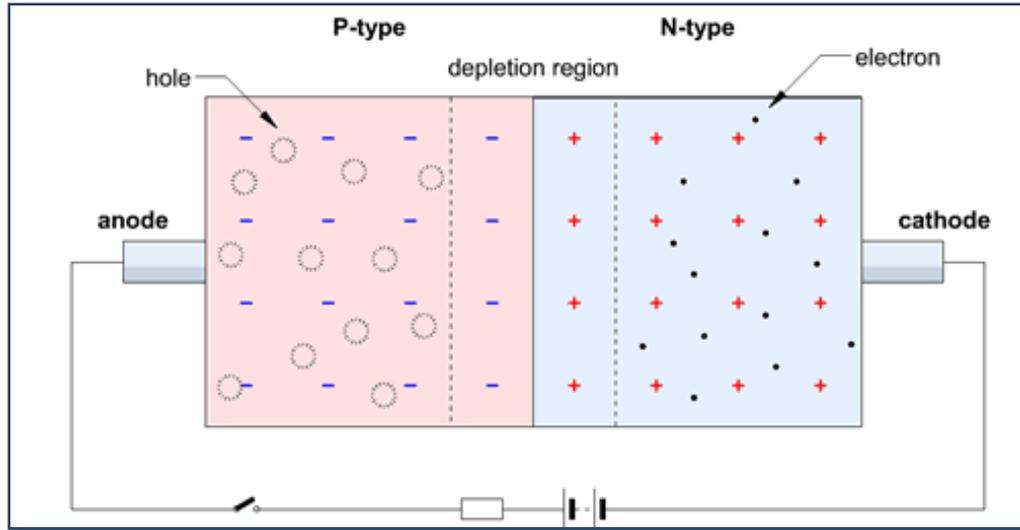
Electrón exceso

Átomos de fosforo sirven de  
dopante tipo n

# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## Semiconductores

Se difunden  $e^-$  que rellenan huecos, se crea un campo eléctrico, se crea una región de agotamiento o zona de carga espacial donde no hay huecos ni electrones en exceso.



$$n_n = N_{\text{eff}}^{\text{cb}} \cdot e^{-\frac{(E_{\text{cb}}^{\text{n}} - E_f)}{k_B \cdot T}}$$

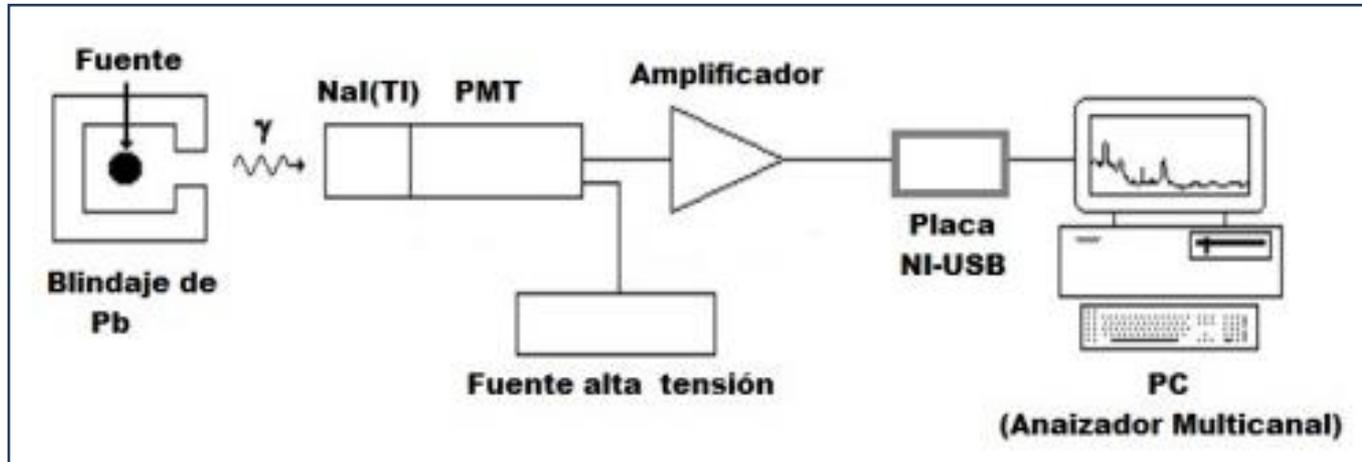
$$P_p = N_{\text{eff}}^{\text{vb}} \cdot e^{-\frac{(E_f - E_{\text{vb}}^{\text{p}})}{k_B \cdot T}}$$

Union P-N. Fuente: <http://pelandintecno.blogspot.com/2014/04/como-funciona-una-union-pn.html>

## ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

### SISTEMA DE ESPECTROMETRIA NUCLEAR

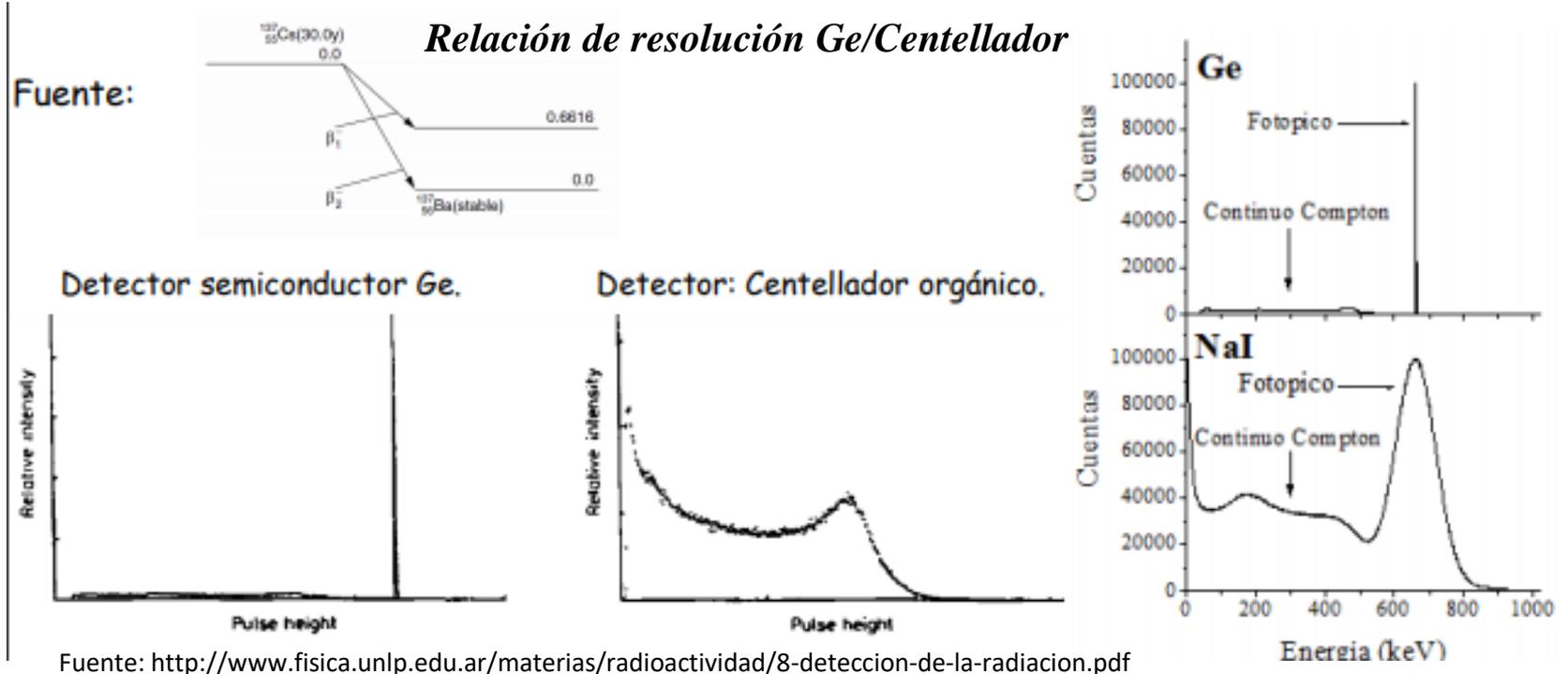
Un sistema de espectrometría nuclear nos permite medir un espectro característico de una partícula y/o radiación. Las partes fundamentales la conforman el detector y la cadena electrónica.



Fuente: [http://users.df.uba.ar/bragas/Informes/TP3\\_Labo\\_5\\_\\_Nuclear\\_G1.pdf](http://users.df.uba.ar/bragas/Informes/TP3_Labo_5__Nuclear_G1.pdf)

# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## SISTEMA DE ESPECTROMETRIA NUCLEAR



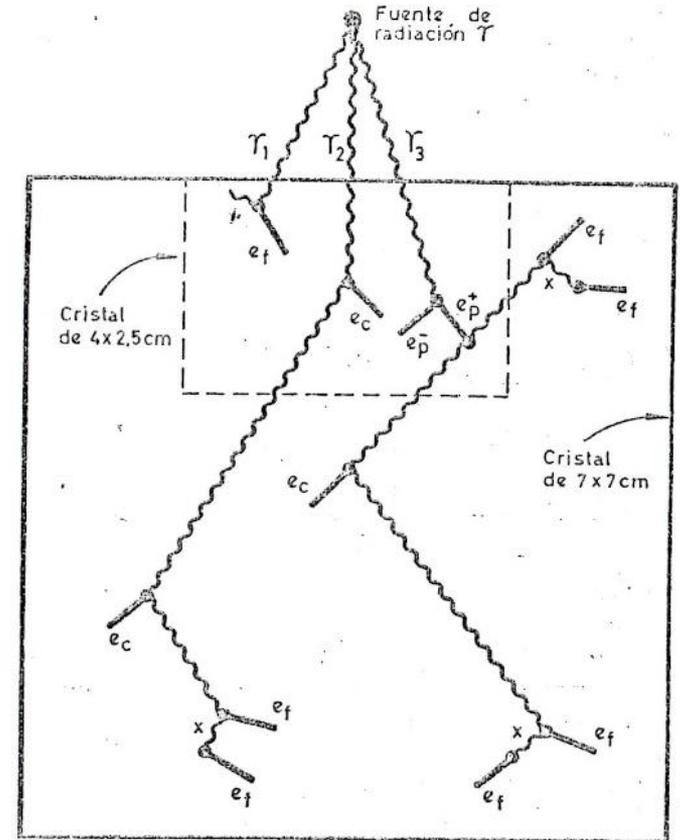
## ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

### INTERACCIÓN DE LOS FOTONES EN EL CRISTAL

La probabilidad relativa la radiación gama interaccione mediante: E.F., P.D.P., E.C., no solo depende de la energía del foton incidente sino que además depende del tamaño del cristal – detector.

Mientras que el  $\gamma_1$  producirá un impulso de amplitud correspondiente al E.F., los gammas  $\gamma_2$  y  $\gamma_3$  se situaran en la zona del E.C.

Cuanto mas grande sea el cristal existirán mas gammas que contribuirán a la formación del fotopico del espectro.



# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## SISTEMA DE ESPECTROMETRIA NUCLEAR

Para un detector es importante la definición de eficiencia y resolución, mientras el primero relaciona las partículas y/o fotones detectadas y los que llegan al detector; el segundo es la capacidad del detector de distinguir dos energías próximas entre si.

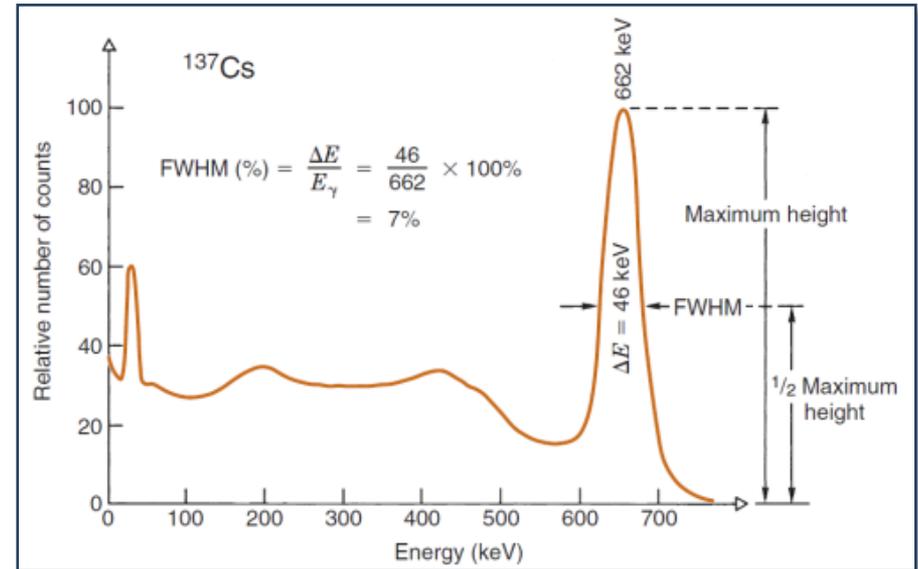
### Resolución en energías

$$\text{Res.} = \frac{\Delta E}{E}$$

Donde:

$\Delta E$ : Full width at half maximum  
 (ancho de la altura media)

Fuente: <http://www.fisica.unlp.edu.ar/materias/radioactividad/8-deteccion-de-la-radiacion.pdf>



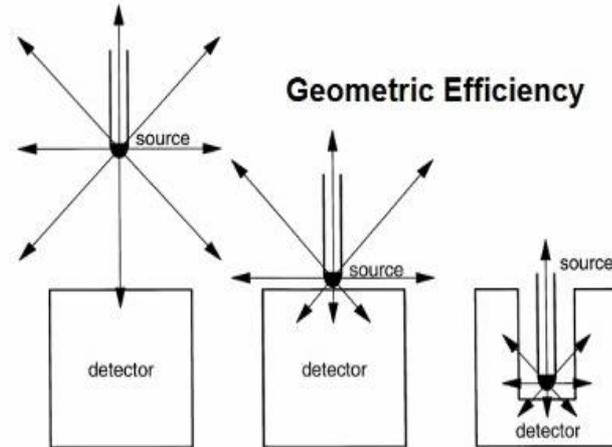
# ESPECTROMETRIA NUCLEAR BÁSICA

## EFICIENCIA DE DETECCIÓN

- Porcentaje de radiación que un detector dado detecta el rendimiento total emitido por la fuente.
- Las eficiencia puede varia con el volumen y forma del material detector, sección eficaz de absorción en el material, material de atenuación frente al detector; y la distancia – posición de la fuente al detector. Puede ser expresado como el full-energy peak efficiency (FEPE)

$$\varepsilon = \frac{N_{measur.}}{N_{emitted}} = \frac{N_{neta}}{A \cdot Y_i \cdot t}$$

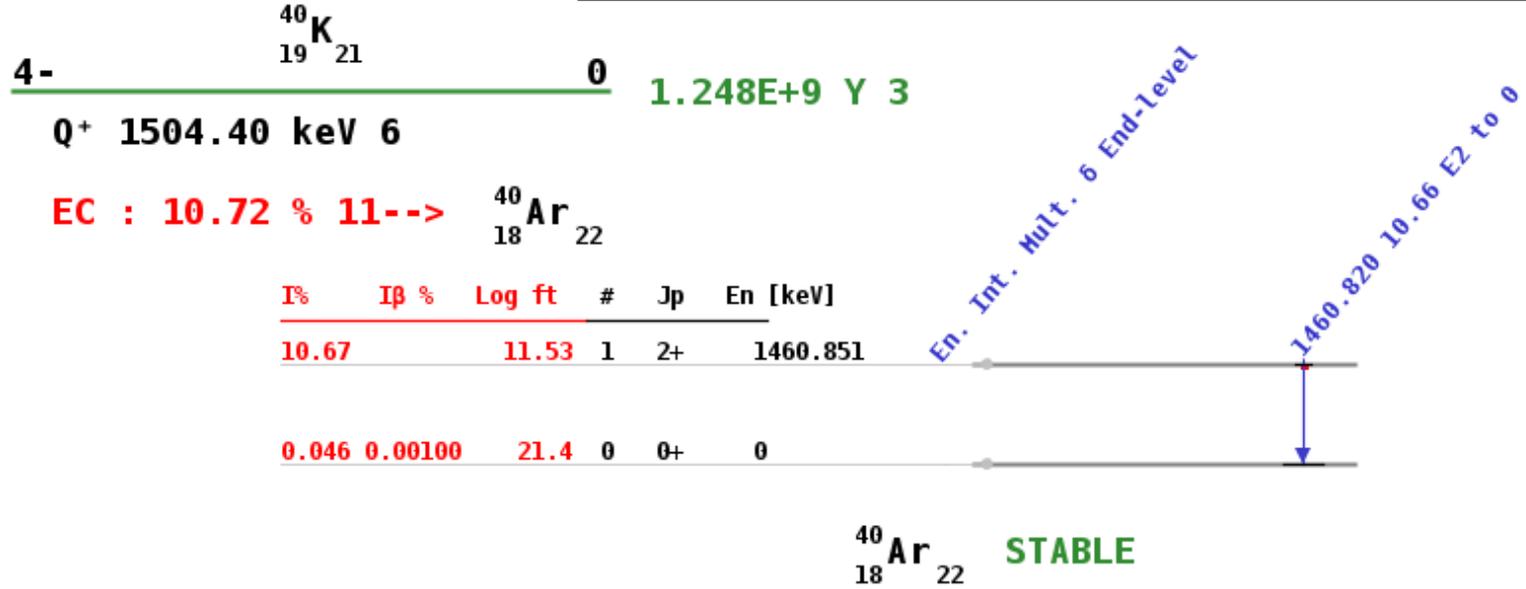
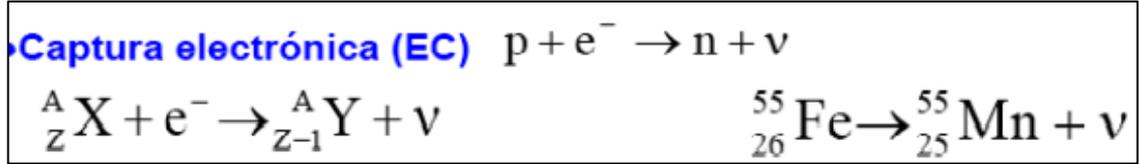
$$\text{Efficiency} = (\text{Geometric Efficiency}) \times (\text{Intrinsic Efficiency})$$



**Intrinsic Efficiency: Absorption Efficiency x Conversion Efficiency**

# ANÁLISIS DE ESPECTROS

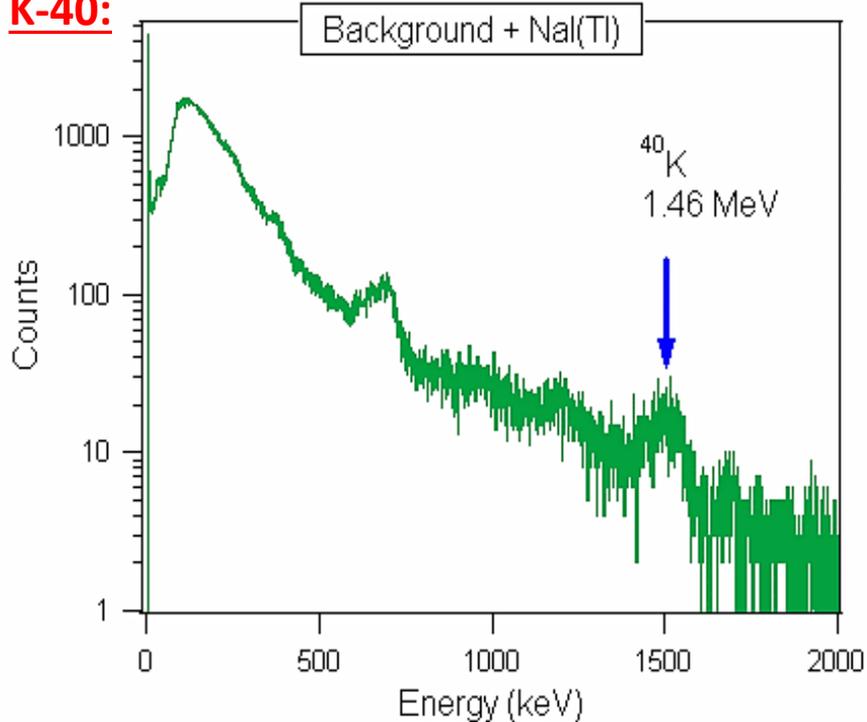
**K-40:**



<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

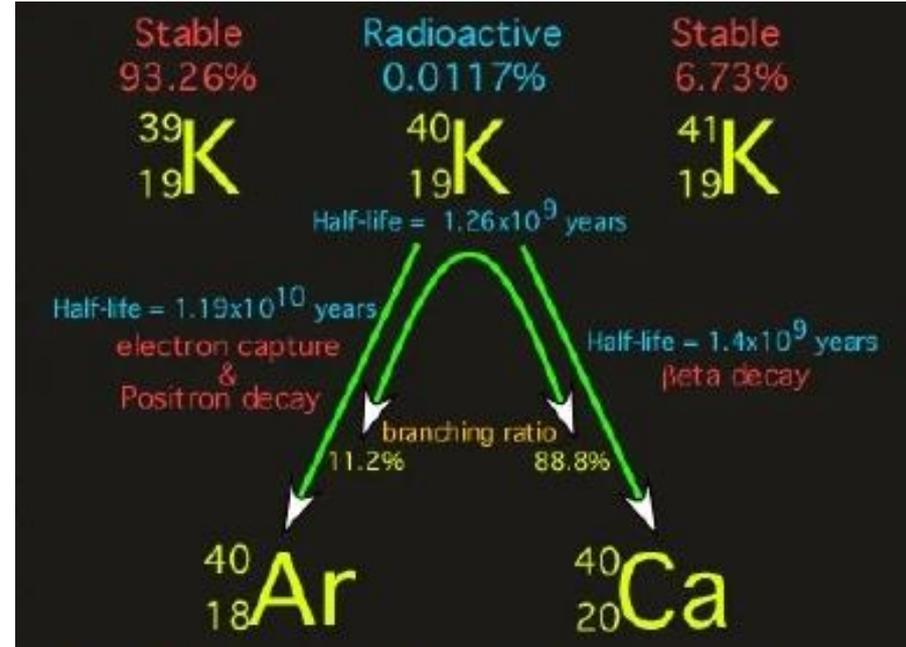
## ANÁLISIS DE ESPECTROS

**K-40:**



SAL DE POTASIO: <https://www.youtube.com/watch?v=b83ekaPKr1w>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/KAr.html>



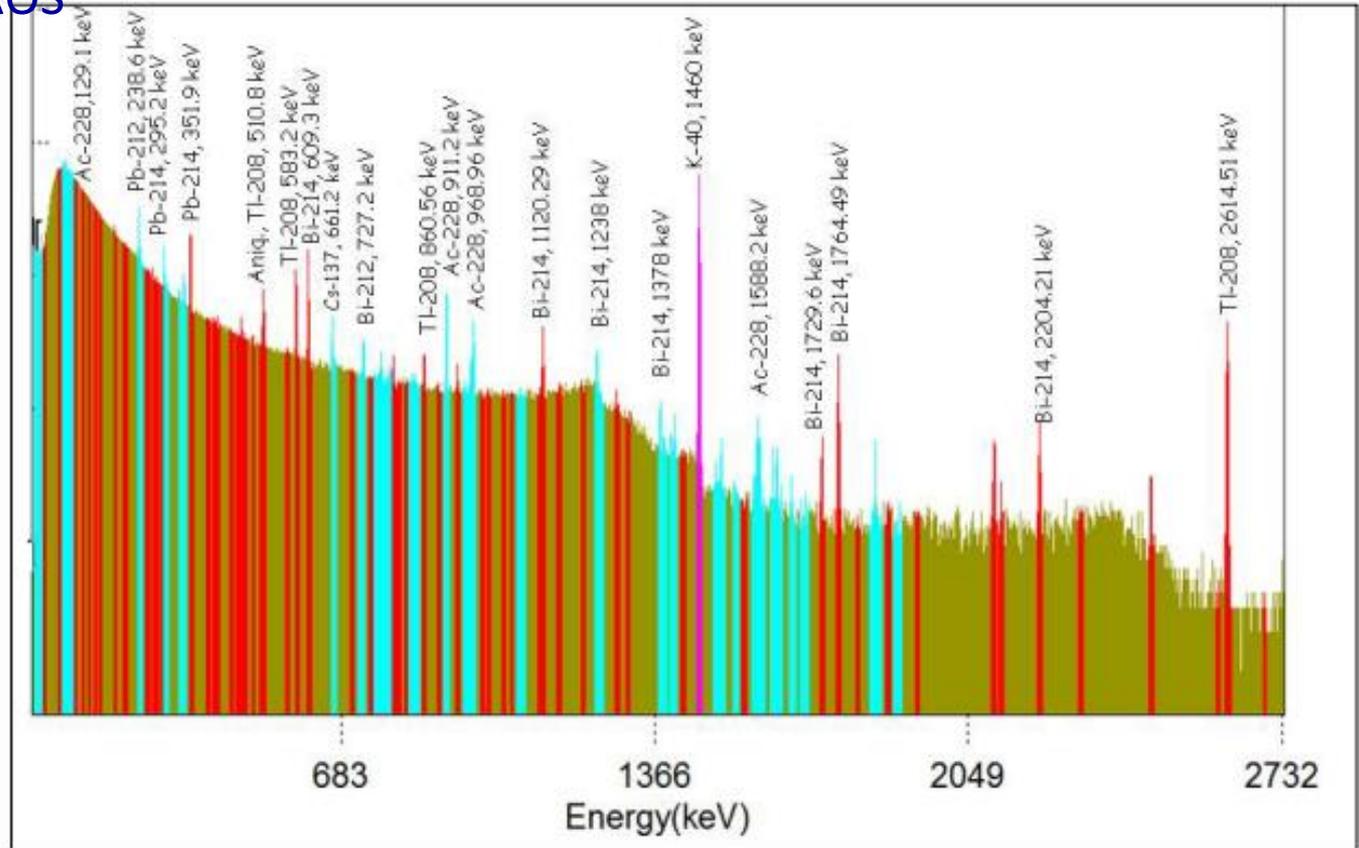
Fuentes radiactivas – espectro: <https://shre.ink/DDYA>

## ANÁLISIS DE ESPECTROS

**U-238:**

**Th-232:**

$^{208}\text{Tl}$  (583.187 y  
 860.56 keV) y  
 $^{228}\text{Ac}$  (911.196,  
 968.960 keV) para  
 la serie del Torio;  
 $^{214}\text{Pb}$  (351.932  
 keV) y  $^{214}\text{Bi}$   
 (295.224, 609.312  
 keV) para la serie  
 del Uranio



# METODOLOGÍA

1. Prólogo	6
2. Introducción y justificación	7
3. Campo de aplicación del procedimiento	9
4. Sistemática de trabajo	10
4.1. Constitución del grupo de trabajo	10
4.2. Método de trabajo	10
4.3. Bibliografía consultada	10
5. Desarrollo del procedimiento	11
5.1. Definición de objetivos	11
5.2. Definición de terminología	11
5.3. Elección del punto de muestreo	12
5.3.1. Número de puntos	12
5.3.2. Características del punto	13
5.3.3. Profundidad de muestreo	15
5.4. Instrumentos de muestreo	15
5.5. Extracción de la muestra	17
5.6. Remisión al laboratorio e información anexa	18
6. Conclusiones	20
7. Referencias	21

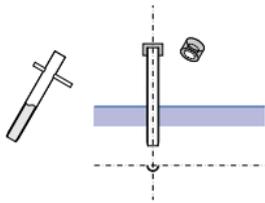
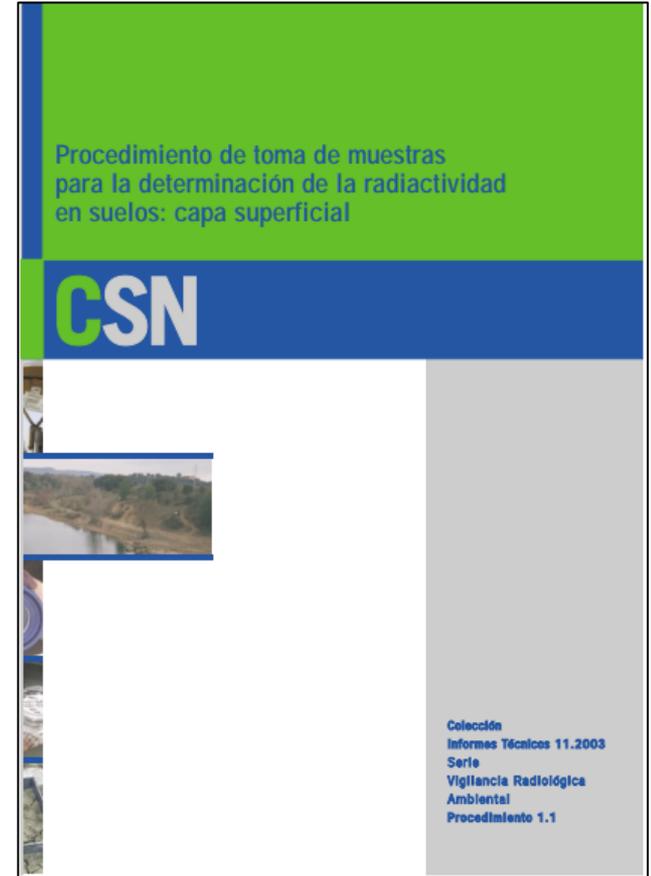


Figura 1. Sacabocados con barra extractora y caperuza



Figura 2. Plantilla



# METODOLOGÍA



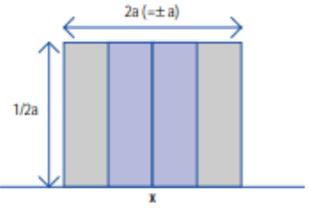
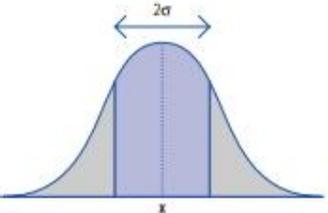
Procedimiento para la conservación  
 y preparación de muestras de suelo para  
 la determinación de la radiactividad

**CSN**



# METODOLOGÍA

Tabla I. Funciones de distribución más frecuentes para cálculo de incertidumbres tipo B

Distribución Rectangular		
Forma	Utilización	Incertidumbre
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se tiene un certificado o documentación que da límites sin especificar el nivel de confianza (ej.: 25ml ± 0,05ml).</li> <li>Se realiza una estimación, asignando un rango máximo (±a) siendo desconocida la forma de la distribución.</li> </ul>	$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Distribución Normal		
Forma	Utilización	Incertidumbre
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se realiza una estimación, mediante repetidas observaciones de un proceso de variación aleatoria.</li> <li>Se indica una incertidumbre como una desviación típica <math>s</math> o <math>\sigma</math>, una desviación típica relativa <math>s/\bar{x}</math>, o un coeficiente de varianza CV%, sin especificar el tipo de distribución.</li> <li>Se indica una incertidumbre con intervalo de confianza, <math>x \pm 1</math>, sin especificar el tipo de distribución.</li> </ul>	$u(x) = s$  $u(x) = s$ $u(x) = x \cdot (s / \bar{x})$ $u(x) = \frac{CV}{100} \cdot x$  $u(x) = I / 2 \text{ (95\%)}$ $u(x) = I / 3 \text{ (99,7\%)}$

Procedimiento para la evaluación de incertidumbres en la determinación de la radiactividad ambiental

**CSN**



Colección  
 Informes Técnicos 11.2003  
 Serie  
 Vigilancia Radiológica  
 Ambiental  
 Procedimiento 1.3

# METODOLOGÍA

Figura 5. Distribución del número de medidas por matrices para el conjunto de medidas englobadas en "Otros".

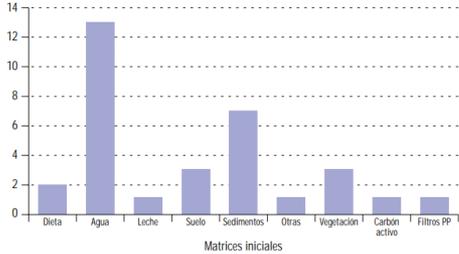
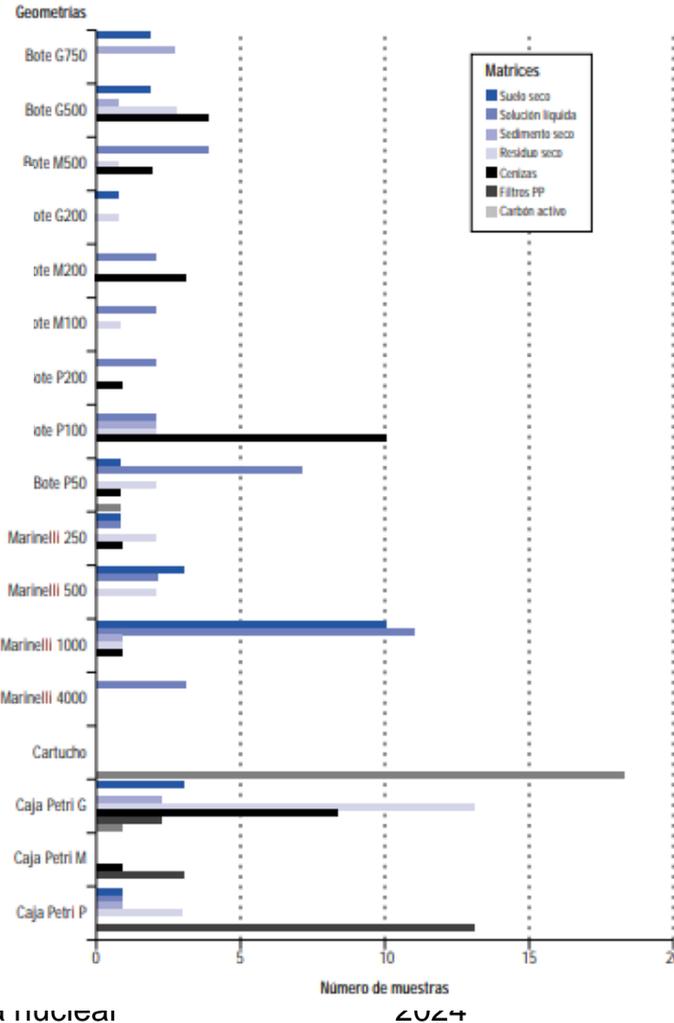


Tabla 1. Resultados del estudio de geometrías.

Matriz final	Geometrías preferentes	
	Tipos	%
Carbon activo	Cartucho	90
Filtros PP	Caja Petri P	73
Residuo seco	Caja Petri G	42
Cenizas	Caja Petri G/Bote P100	31/25
Sedimento seco	—	—
Solución líquida	Marinelli 1000/Bote P50	30/19
Suelo seco	Marinelli 1000/Marinelli 500	42/12



## Selección, preparación y uso de patrones para espectrometría gamma

# CSN



Colección  
 Informes Técnicos 11.2004  
 Serie  
 Vigilancia Radiológica  
 Ambiental  
 Procedimiento 1.4

## METODOLOGÍA



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency  
Atoms for Peace and Development

### Certified Reference Material CERTIFICATE

**IAEA-478**

#### RADIONUCLIDES IN AGRICULTURAL SOIL

##### Certified values for activity concentration

(based on dry mass)

Radionuclide	Certified value [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]
<sup>40</sup> K	374	15	1.2504 (30) × 10 <sup>9</sup> years
<sup>60</sup> Co	142	2	5.2711 (8) years
<sup>133</sup> Ba	56.8	0.7	10.539 (6) years
<sup>134</sup> Cs	112.2	1.4	2.0644 (14) years
<sup>137</sup> Cs	65.0	0.9	30.05 (8) years
<sup>210</sup> Pb	485	10	22.23 (12) years
<sup>241</sup> Am	53.1	0.7	432.6 (6) years

(a) The uncertainty is expressed as a combined standard uncertainty (coverage factor  $k = 1$ ).



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency  
Atoms for Peace and Development

### Certified Reference Material CERTIFICATE

**IAEA-465**

#### RADIONUCLIDES IN BALTIC SEA SEDIMENT

##### Certified values for activity concentration

(based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Expanded uncertainty <sup>(b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]	Remark <sup>(c)</sup>
<sup>40</sup> K	1074	70	1.2504(30) × 10 <sup>9</sup> years	
<sup>137</sup> Cs	90.2	5.4	30.05(8) years	
<sup>210</sup> Pb	160	11	22.23(12) years	
<sup>210</sup> Po <sup>(d)</sup>	162	8	138.3763(17) days	(N)
<sup>228</sup> Ra	51.5	3.7	1600(7) years	
<sup>228</sup> Ra <sup>(e)</sup>	64.5	6.0	5.75(4) years	
<sup>228</sup> Th	64.5	6.0	1.9126(9) years	
<sup>230</sup> Th	71.4	10.2	7.538(30) × 10 <sup>4</sup> years	(N)
<sup>232</sup> Th	64.5	6.0	14.02(6) × 10 <sup>9</sup> years	
<sup>234</sup> U	88.3	6.5	2.455(6) × 10 <sup>5</sup> years	(N)
<sup>238</sup> U	4.03	0.28	704(1) × 10 <sup>6</sup> years	
<sup>238</sup> U	87.3	6.2	4.468(5) × 10 <sup>9</sup> years	
<sup>239/240</sup> Pu	2.19	0.12	-	(N)
<sup>241</sup> Am <sup>(f)</sup>	0.99	0.15	432.6(6) years	(N)



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency  
Atoms for Peace

International Atomic Energy Agency  
Department of Nuclear Sciences and Applications  
IAEA Environment Laboratories

Vienna International Centre, P.O. Box 100, 1400 Vienna, Austria

### REFERENCE SHEET

#### CERTIFIED REFERENCE MATERIAL

**IAEA-RGK-1**

#### POTASSIUM SULPHATE

**TABLE 1. CERTIFIED VALUES FOR MASS ACTIVITY**

(based on dry mass)

Radionuclide	Certified value [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>*</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]
<sup>40</sup> K	13 860	160	1.2504 (30) × 10 <sup>9</sup> years

## METODOLOGÍA



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency  
Atoms for Peace and Development

**Certified Reference Material  
CERTIFICATE**

**IAEA-464**

**RADIONUCLIDES IN BROWN RICE**

**Certified values for activity concentration**  
(based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>(b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]	Remark
<sup>40</sup> K	72.1	3.2	1.2504(30)×10 <sup>9</sup> years	
<sup>137</sup> Cs	38.6	0.8	30.05(8) years	

(a) Certified values are calculated from the accepted data sets, each being obtained by a different laboratory following ISO Guide 35 [2].  
(b) The uncertainty is expressed as a combined standard uncertainty (coverage factor  $k = 1$ ) estimated in accordance with the JCGM 100:2008 [3] and ISO Guide 35 [2].

**Information values for activity concentration**  
(based on dry mass)

Radionuclide	Information value <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>(b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]	Remark
<sup>134</sup> Cs	12.0	0.4	2.0644(14) years	



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency  
Atoms for Peace and Development

**Certified Reference Material  
CERTIFICATE**

**IAEA-479**

**RADIONUCLIDES IN MILK POWDER**

**Certified values for activity concentration**  
(based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>(b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]	Remark <sup>(c)</sup>
<sup>90</sup> Sr	41.2	1.0	28.80(7) years	(N)
<sup>133</sup> Ba	30.3	0.7	10.539(6) years	
<sup>134</sup> Cs	213.0	4.7	2.0644(14) years	
<sup>137</sup> Cs	228.6	5.0	30.05(8) years	

(a) Certified values are calculated based on material balance following ISO Guide 35 [2].  
(b) The uncertainty is expressed as a combined standard uncertainty (coverage factor  $k = 1$ ).  
(c) The property values annotated (N) are not within the scope of accreditation.

**Information values for activity concentration**  
(based on dry mass)

Radionuclide	Information value <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Uncertainty <sup>(b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]	Remark <sup>(c)</sup>
<sup>40</sup> K	378	15	1.2504(30)×10 <sup>9</sup> years	(N)



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency  
Atoms for Peace and Development

**Certified Reference Material  
CERTIFICATE**

**IAEA-412**

**RADIONUCLIDES IN PACIFIC OCEAN SEDIMENT**

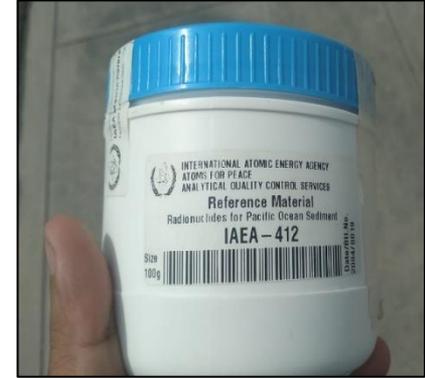
**Certified values for activity concentration**  
(based on dry mass)

Radionuclide	Certified value <sup>(a)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Expanded uncertainty <sup>(b)</sup> [Bq kg <sup>-1</sup> ]	Half-life [1]	Remark <sup>(c)</sup>
<sup>40</sup> K	561	26	1.2504(30)×10 <sup>9</sup> years	
<sup>137</sup> Cs	5.66	0.17	30.05(8) years	
<sup>210</sup> Po <sup>(d)</sup>	89.7	3.8	138.3763(17) days	(N)
<sup>210</sup> Pb <sup>(e)</sup>	88.2	3.2	22.23(12) years	
<sup>226</sup> Ra <sup>(f)</sup>	27.4	1.0	1600(7) years	
<sup>228</sup> Ra <sup>(g)</sup>	36.2	2.3	5.75(4) years	
<sup>228</sup> Th <sup>(h)</sup>	36.3	1.1	1.9126(9) years	
<sup>232</sup> Th	36.3	3.5	14.02(6)×10 <sup>9</sup> years	
<sup>235</sup> U	1.38	0.05	704(1)×10 <sup>6</sup> years	
<sup>238</sup> U	31.2	1.7	4.468(5)×10 <sup>9</sup> years	
<sup>239</sup> Pu	0.358	0.012	24100(11) years	(N)
<sup>240</sup> Pu	0.240	0.011	6561(7) years	(N)
<sup>239/240</sup> Pu	0.611	0.016	-	(N)

# METODOLOGÍA



*¿Qué tipo de envase utilizar para los materiales de referencia y las muestras?*



## METODOLOGÍA

### [ISO-18589-3-2015-pdf](#)

### Método relativo

$$A_{sb} = \frac{N_n}{I_\gamma \cdot \epsilon \cdot m \cdot T_r}$$

$$A_{412} = \frac{N_{n(412)}}{I_{\gamma(412)} \cdot \epsilon_{412} \cdot m_{412} \cdot T_{r(412)}}$$

$$I_{\gamma(412)} = I_{\gamma(rel)}$$

$$\frac{A_{rel}}{A_{412}} = \frac{\left[ \frac{N_{n(rel)}}{T_{r(rel)}} \right] \epsilon_{412} m_{412}}{\left[ \frac{N_{n(412)}}{T_{r(412)}} \right] \epsilon_{rel} m_{rel}}$$



$$\epsilon_{412} = \epsilon_{rel} \rightarrow \epsilon(E, \rho, z_i)$$

$$A_{rel} = A_{412} \frac{Tasa_{(rel)} m_{412}}{Tasa_{(412)} m_{rel}}$$

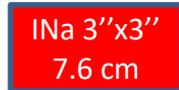
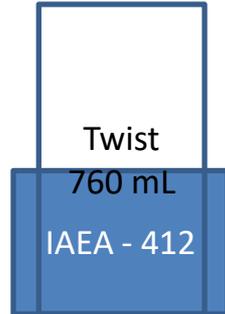
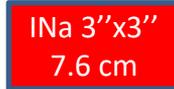
$N_n$ : Área neta del perfil de cuentas para el indicador desnudo

$I_\gamma$ : Tasa de emisión

$m$ : Masa de la muestra

$T_r$ : Tiempo de medición

$$A_{rel} = \frac{N_{n(rel)}}{I_{\gamma(rel)} \cdot \epsilon_{rel} \cdot m_{rel} \cdot T_{r(rel)}}$$



# Preguntas al azar (3)

1) Los núcleos inestables explican la presencia de radioactividad en un compuesto determinado, emitiendo diversas formas de partículas. Al respecto establezca la correspondencia y marque la secuencia correcta.

- a) Alfa
- b) Beta +
- c) Beta -
- d) Captura electrónica
- e) Radiación gamma

**Rpta. dbcea**

( ) Emite electrones con fotones de energías características a los saltos orbitales del átomo. No hay presencia de neutrino o antineutrino.

( ) Su numero de masa se mantienen constante

( ) Su numero atómico aumenta

( ) Representa por cuantos o paquetes de energía, forma parte del espectro electromagnético

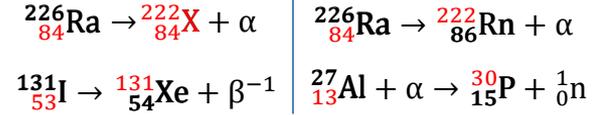
( ) Es el núcleo de un átomo de helio con energía cinética

2) Según el proceso de desintegración radiactiva indique verdadero o falso

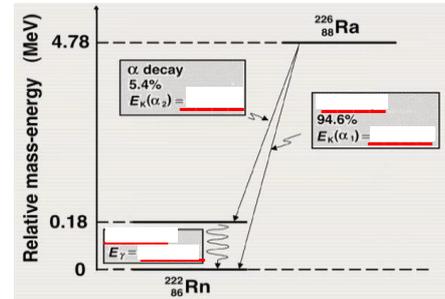
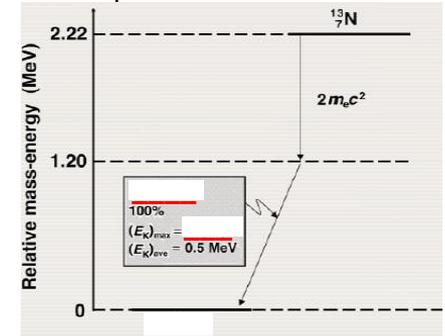
- a) El proceso de desintegración radiactiva es espontanea.
- b) Para el proceso de desintegración se conserva la energía cinética, el momentum lineal y la masa de las partículas
- c) En el decaimiento radiactivo, los átomos de la sustancia decaen respecto al tiempo.
- d) Los DPS son las cuentas que contabiliza un detector de radiación.
- e) La emisión más penetrante es la alfa

**Rpta. VFVFF**

3) De acuerdo a el proceso de reacciones nucleares, complete con un numero los espacios en blanco:



4) Complete los espacios en blanco: Elemento, tipo de radiación o energía según corresponda.



## Bibliografía:

1. Design of Irradiation Channels in Radium-Beryllium  $^{226}\text{Ra}$ -Be Neutron Irradiation Facility Usmba-Fsdm-Fez Morocco
2. Neutron Fluence Measurements. Technical reports series N° 107. OIEA, 1970 (es necesario ubicar el reporte para fuentes de neutrones, esta referencia es para reactores nucleares)
3. Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes
4. CR-39 Nuclear Track Detector used for neutrón dosimetry: System Calibration
5. Calculation of Neutron fluxes and radiation doses for neutrón irradiator ( $^{226}\text{Ra}$ -Be using the MCNP5 Code
6. Management of disused long sealed radioactive sources (LLSRS)
7. Alpha particle energy response of CR-39 detectors by 50 Hz-HV electrochemical etching method.
8. X-5 Monte Carlo Team. Diagnostics Application Group. Los Alamos National Laboratory. MCNP-A General Montecarlo, N-Particle Transport Code, Versión 5 (2003)
9. Exposiciones de la clase en Física Nuclear. Profesor Daniel Francisco Palacios
10. Krane K. Introductory Nuclear Physics. . Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons Ltd.; 1988.
11. Glasstone S. y Sesonske A. Ingeniería de reactores nucleares. 1era ed. España: Reverté; 1968.
12. Knoll G.F. Radiation detection and measurement. 2da ed. Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons Ltd.; 1989.
13. Sánchez del Rio C., M. Aránzazu Vigon, Verdaguer F., editores. Física del Neutrón. 1ra ed. Madrid: Junta de energía Nuclear; 1958.
14. Alcalá Ruiz F. Notas sobre medidas de flujos neutrónicos. 1era ed. Madrid: Junta de energía nuclear; 1984.



IPEN: 2do Critico (16-09-2019 / 23:31 h)



PUCP: Curso de Montecarlo

# Muchas Gracias

- [victor.viera@pucp.edu.pe](mailto:victor.viera@pucp.edu.pe)
- [vviera@ipen.gob.pe](mailto:vviera@ipen.gob.pe)
- [vmvierac@unac.edu.pe](mailto:vmvierac@unac.edu.pe)



Universidad  
Nacional del Callao

Ciencia y Tecnología del Tercer Milenio  
Universidad Licenciada, Resolución N° 171-2019-SUNEDU/CD

# CURSO - TALLER FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR



GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA MÉDICA

Monitores de Radiación y  
Sistemas de Detección 

Br. Shamuel Saenz Sotelo

**FCNM**  
PREGRADO

**FACULTAD DE  
CIENCIAS  
NATURALES Y  
MATEMÁTICA**

**UNAC**

# Monitores de Radiación y Sistemas de Detección

### 3. MONITORES DE RADIACIÓN Y SISTEMAS DE DETECCIÓN

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 70172651, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=70172651>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre

APELLIDO Y NOMBRE

**INICIAR**



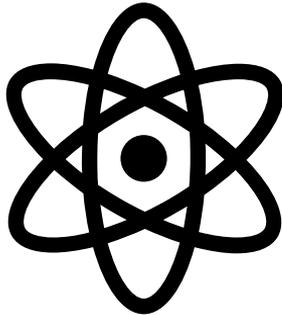
Una vez empezado tiene **8 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:  
**7017 2651**

# Detección de la Radiación

## Radiación

- ALFA
- BETA
- NEUTRONES
- GAMMA
- X
- OTRAS PARTICULAS



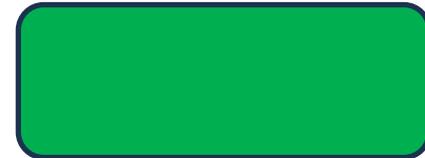
Señal eléctrica

- *Corriente.*
- *Pulsos*

Instrumento electrónico

## DETECTOR

- CÁMARA DE IONIZACIÓN
- GM
- PROPORCIONAL
- CENTELLADOR
- SEMICONDUCTOR





# Clasificación

## Interacción en gases

- *Cámara de Ionización*
- *Geiger – Muller*
- *Proporcionales*

## Interacción en líquidos

- *Centelleo Líquido*

## Interacción en Sólidos:

### **Cristales de centelleo**

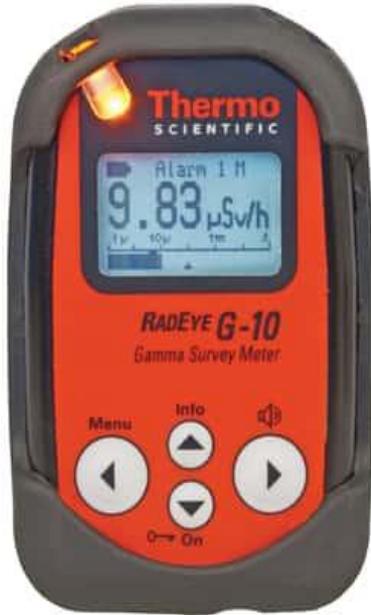
- *Na I (TI)*
- *Ca F (Eu)*
- *Li I (EU)*

### **Semiconductores**

- *Ge – Li*
- *Si – Li*
- *Hiperpuros*



# Clasificación



Detectores de Lectura Directa  
Detectores Activos  
(Monitor de Radiaciones)

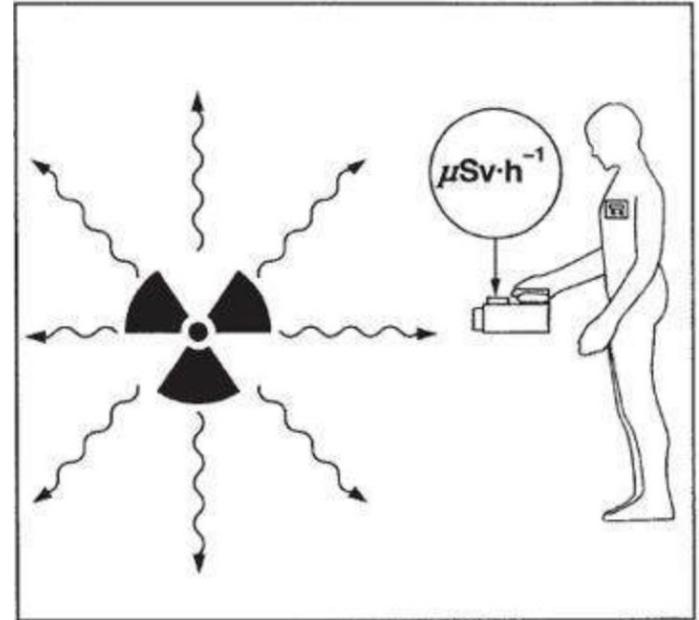


Detectores de Lectura Retardada  
Detectores Pasivos  
(EL Dosímetro)

# Clasificación

## DETECTOR DE ÁREA:

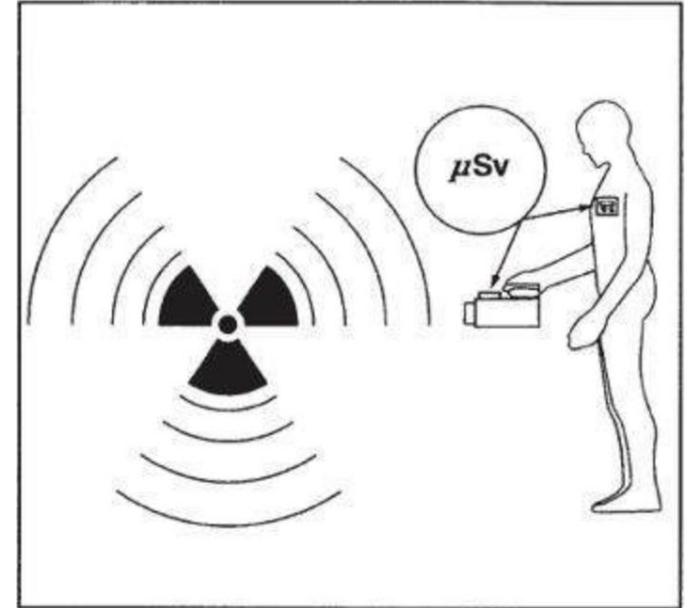
- ❖ Se utilizan para evaluar la irradiación externa.
- ❖ Normalmente se usan en modo de tasa de dosis ( $\text{mSv/h}$ ).
- ❖ Puede ser portátil o fijo, depende de su uso.



# Clasificación

## DOSÍMETROS PERSONALES:

- ❖ Se llevan sobre el cuerpo.
- ❖ Monitorean rutinariamente la dosis acumulada que resulta de una exposición externa.
- ❖ Puede ser de lectura directa o indirecta.
- ❖ Proporciona una lectura inmediata de la dosis en microsieverts (mSv).

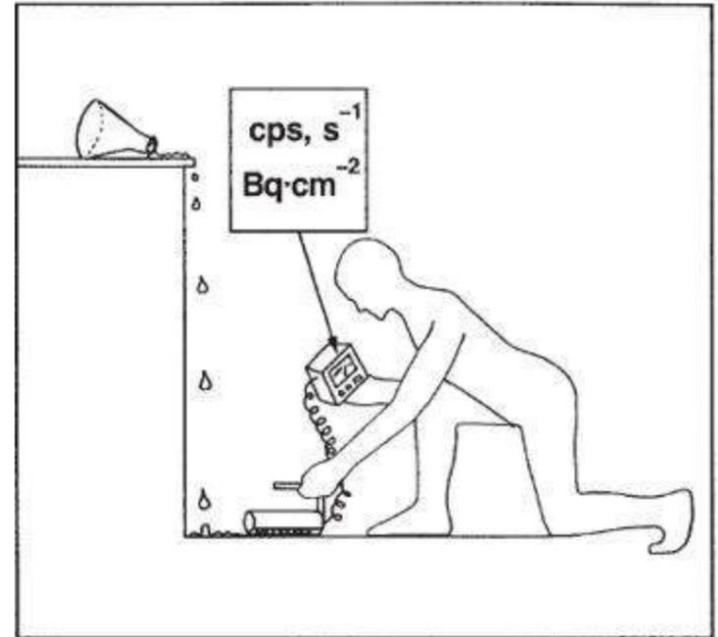




# Clasificación

## DETECTORES DE CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL:

- ❖ Detecta la presencia de sustancias radiactivas en superficies accesibles.
- ❖ Son capaces hasta detectar concentraciones bajas que podrían representar una contaminación interna.
- ❖ Puede medir directamente la contaminación superficial en  $\text{Bq}/\text{cm}^2$ .

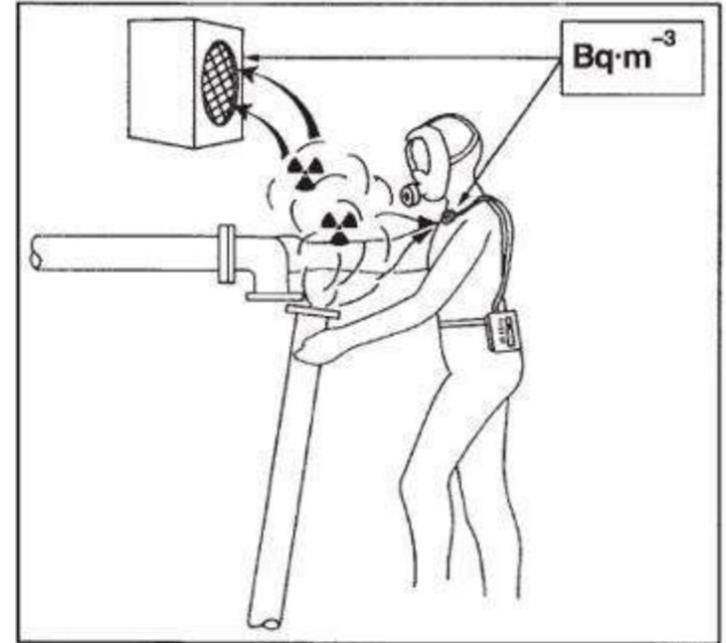




# Clasificación

## DETECTORES DE CONTAMINACIÓN DE AIRE:

- ❖ Se utilizan para indicar cuantas sustancias radiactivas se dispersan en el aire ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ).
- ❖ Algunos pueden detectar radionucleos en tiempo real.



# Tipos de Detectores

## “Detector Gaseoso”

- Geiger-Müller
- Cámara de ionización





## Recuerda

### “Geiger”

- ✓ Utiliza un tubo lleno de gas a baja presión y un voltaje alto aplicado entre un ánodo y un cátodo.
- ✓ Las moléculas de gas ionizadas son aceleradas por el campo eléctrico, produciendo una cascada de ionización.
- ✓ Detecta alfa, beta y gamma.
- ✓ Uso común en medidores portátiles para la detección de radiación en el medio ambiente y en la industria.
- ✓ Alta sensibilidad a niveles bajos de radiación.
- ✓ No distingue entre diferentes tipos de radiación.



### “Cámara de ionización”

- ✓ Consiste en un volumen de gas (*generalmente aire*).
- ✓ La radiación ionizante ioniza el gas, produciendo pares de iones. Estos van a generar una corriente que es proporcional a la energía de la radiación incidente.
- ✓ Da una medición precisa de la dosis de radiación.
- ✓ Usado en radioterapia, protección radiológica y estudios de dosimetría.
- ✓ Menos sensible que un contador Geiger a bajos niveles de radiación.
- ✓ Proporciona una medida cuantitativa de la energía de la radiación, permitiendo distinguir entre los diferentes tipos de radiación.

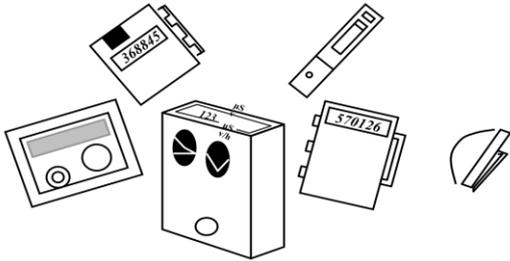
Un contador geiger es más adecuado para la detección general de radiación y es muy sensible a niveles bajos, mientras que una cámara de ionización se utiliza para mediciones precisas de la dosis de radiación y puede proporcionar información sobre la energía de la radiación.

# Tipos de Detectores

## “Dosímetros Personales”

Existe varios tipos de dosímetros personales.

Estos deben ser apropiados para cada trabajo y se deben usar correctamente

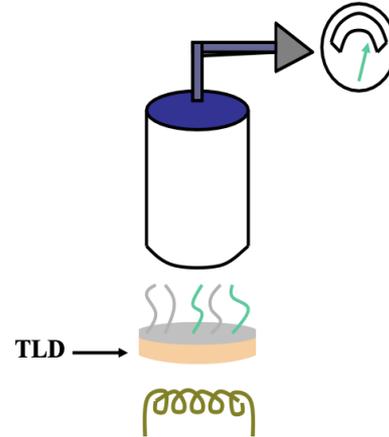
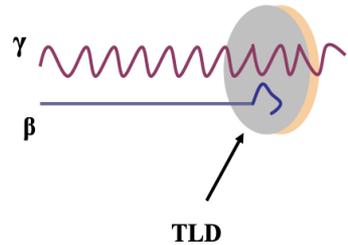


# Tipos de Detectores

## “Detectores de Termoluminiscencia – TLD

Después de exposición se calienta para determinar la dosis.

Absorbe energía y luego la libera como luz



# Tipos de Detectores

## “Dosímetros InLight”

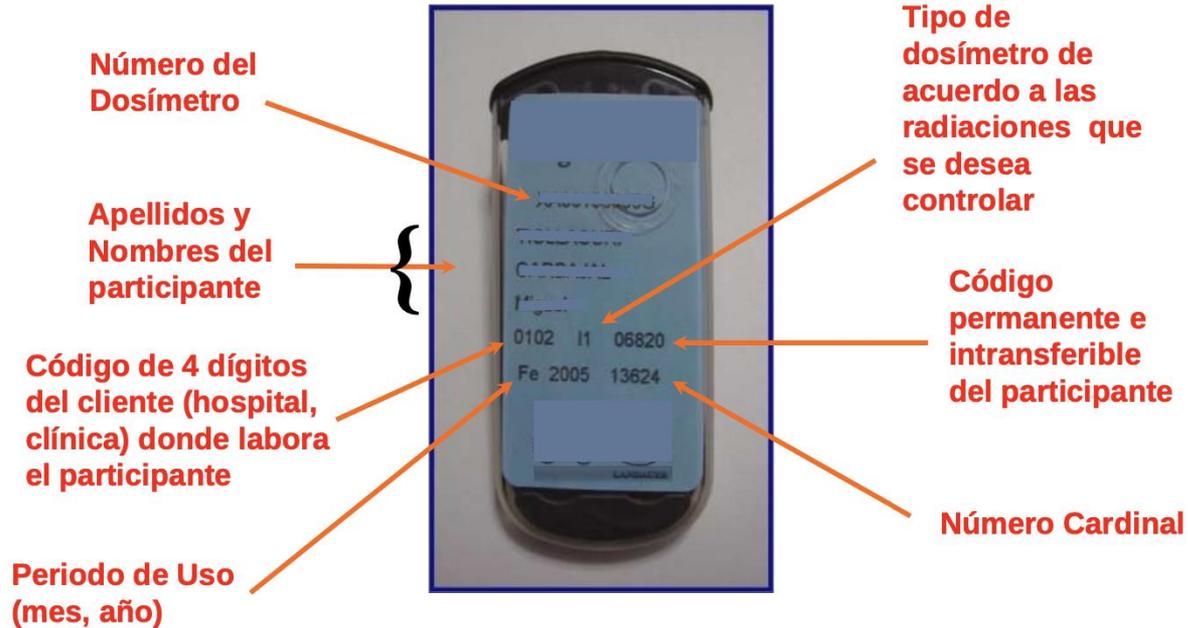
### Detector: Óxido de aluminio

En el proceso de lectura se estimula al detectar con la luz emitida por un diodo, lo cual causa una luminiscencia proporcional a la radiación.



# Tipos de Detectores

## “El Dosímetro In Light”



## RECORDAR: Sobre Dosímetros

- Es de uso personal e intransferible
- Se debe utilizar en una sola instalación
- No debe ser doblado ni perforado
- No debe ser expuestos fuera del portadosímetro
- Utilizarlo durante el trabajo con radiaciones
- Guardarlo lejos de las radiaciones
- No debe exponerse al calor, humedad o presión

# Características de los detectores

- Eficiencia
  - La eficiencia de un detector de radiación se refiere a su capacidad para detectar y medir la cantidad de radiación que incide sobre él.
  - La eficiencia se expresa como un porcentaje y se calcula dividiendo el número de eventos detectados por el número de eventos incidentes.
  - A mayor eficiencia, el detector es capaz de detectar y medir más radiación.

# Características de los detectores

- Resolución
  - La resolución de un detector de radiación se refiere a su capacidad para distinguir entre diferentes energías o tipos de radiación.
  - La resolución se mide en términos del ancho completo a la mitad de la altura (FWHM) del espectro de energía producido por el detector.
  - Una mayor resolución significa que el detector es capaz de diferenciar entre diferentes tipos de radiación con mayor precisión.

# Características de los detectores

- Límite de Detección
  - El límite de detección (LD) de un detector de radiación se refiere a la cantidad mínima de radiación que el detector puede detectar con un cierto nivel de confianza.
  - El LD normalmente se expresa como la actividad o concentración mínima detectable de una sustancia radiactiva.
  - Un LD más bajo significa que el detector puede detectar cantidades más pequeñas de radiación con mayor precisión.

# Características de los detectores

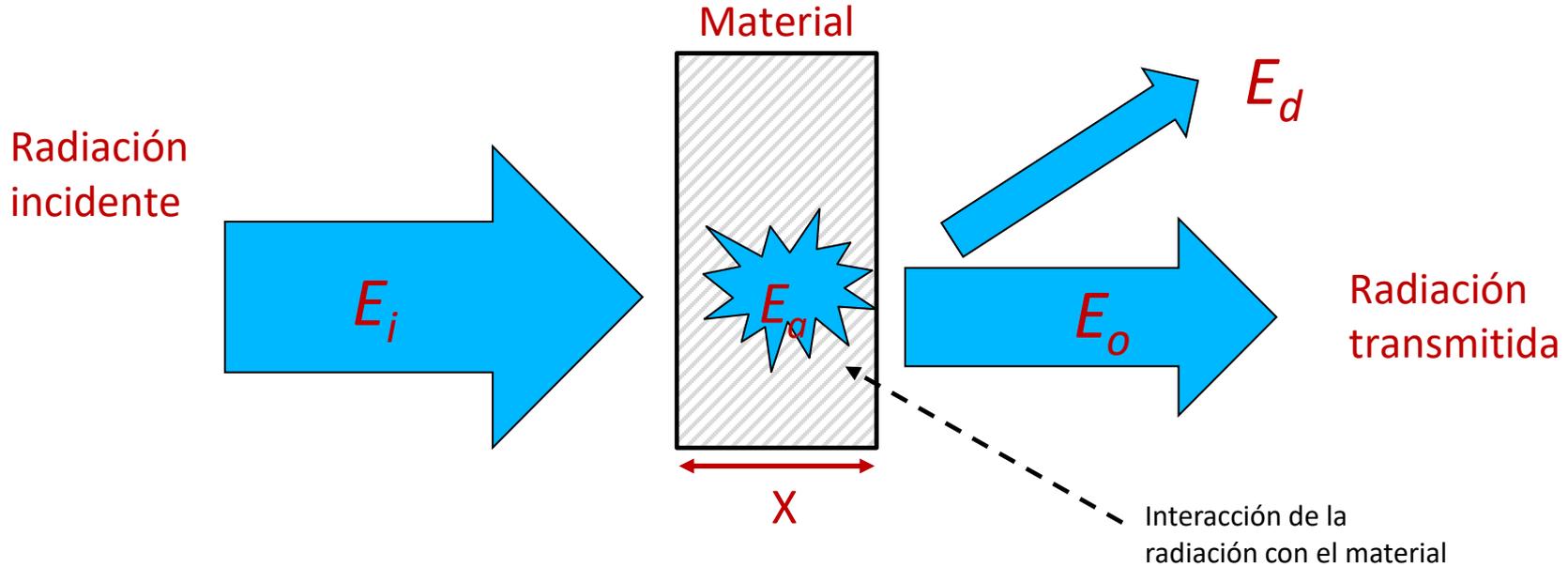
- Recuerda

Una alta eficiencia y resolución son características deseables que permiten mediciones precisas y exactas de la radiación, mientras que un bajo límite de detección es importante para detectar pequeñas cantidades de radiación en diversas aplicaciones, como el monitoreo ambiental y el diagnóstico por imagen.

# Definición

- El uso seguro y eficaz de las técnicas nucleares requiere instrumentación fiable para llevar a cabo las actividades de medición, diagnóstico y control.
- En muchas aplicaciones sofisticadas, como los sistemas de imagenología de precisión para el diagnóstico médico, los sensores remotos para el control de la seguridad ambiental o el análisis y fabricación de los materiales más modernos, se utiliza instrumentación nuclear avanzada. (IAEA, <https://www.iaea.org/es/ciencia-nuclear/instrumentacion-nuclear>)
- Cuando se habla de instrumentación en una instalación nuclear (reactores de investigación, de producción de radioisótopos o central de potencia) se está hablando de un conjunto de sistemas electrónicos que controlan la planta; por ello su diseño debe garantizar operación segura y máxima disponibilidad.

# Detección de radiaciones



$$E_i = E_o + E_d + E_a \longrightarrow E_o < E_i$$

$$E_o = E_i \cdot e^{-\mu X}$$



# Interacción de la radiación con la materia

Coefficiente de atenuación

- Tipo de radiación
- Energía de la radiación
- Material (número atómico, densidad, estructura, etc.)



$\mu$

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i$$

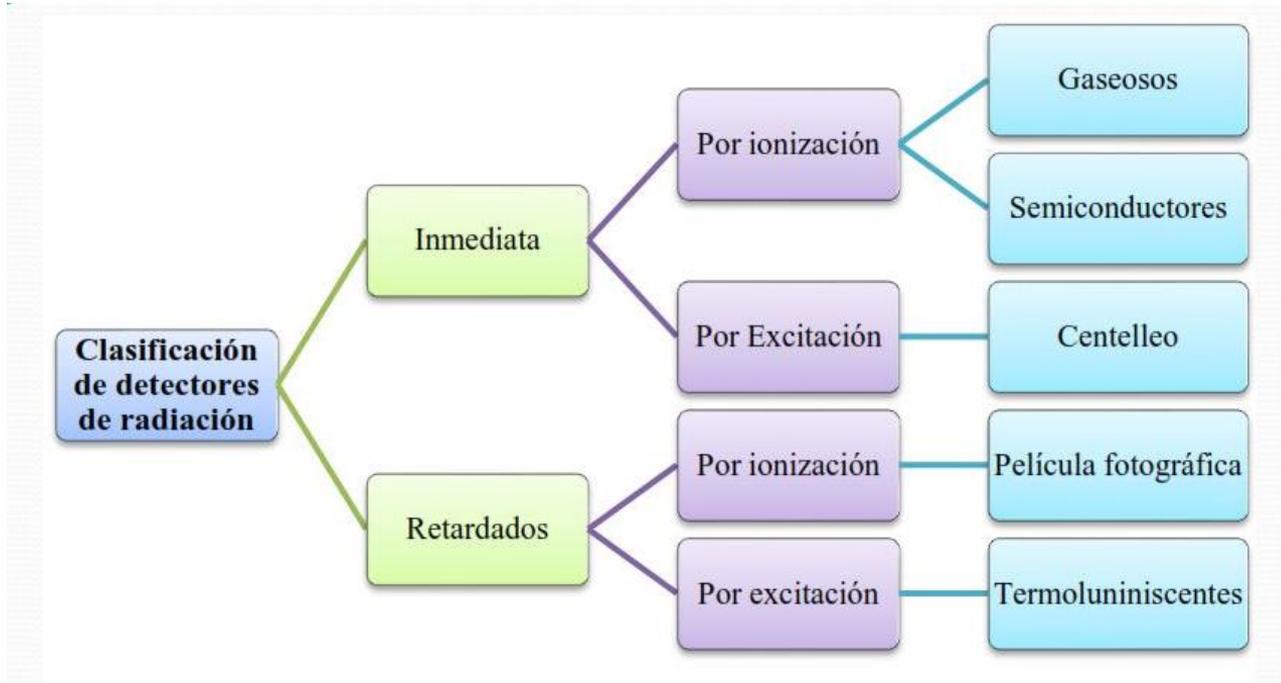
n : cada uno de los fenómenos de interacción de la radiación con el material

# INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR

## Detectores de radiación

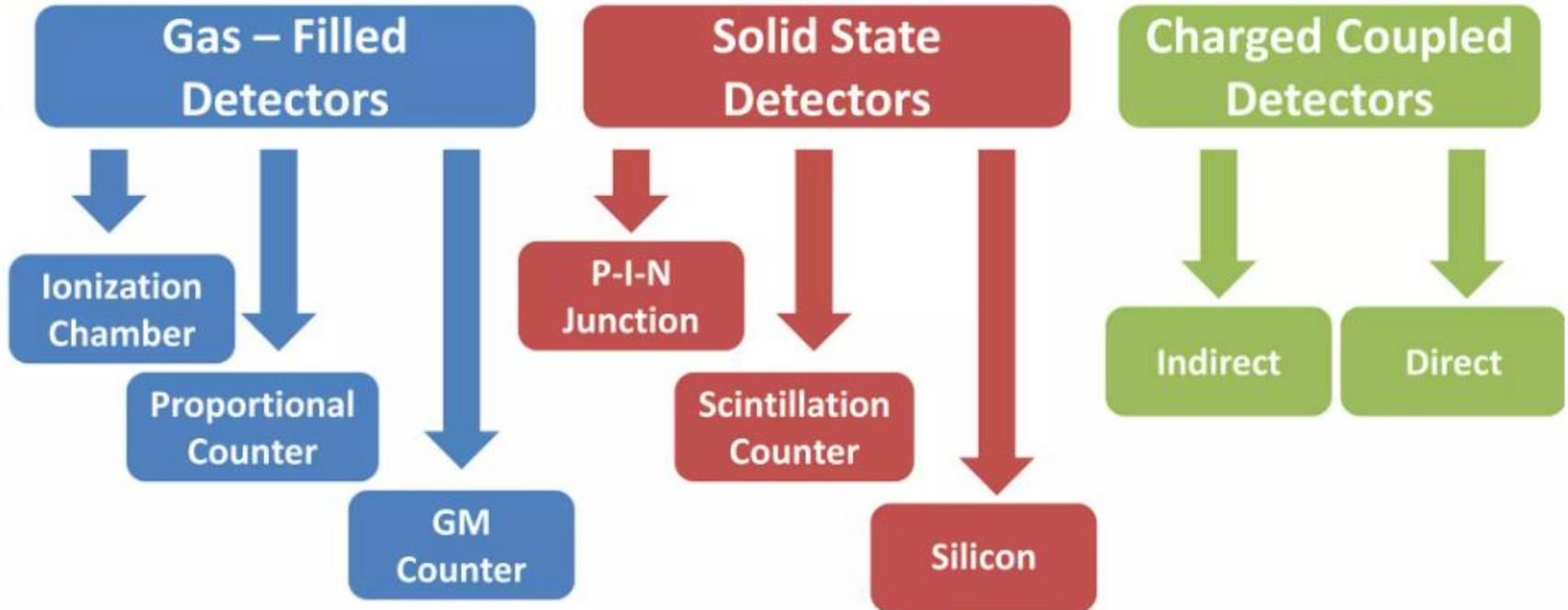
# Tipos de detectores de radiación

Según la respuesta en el tiempo

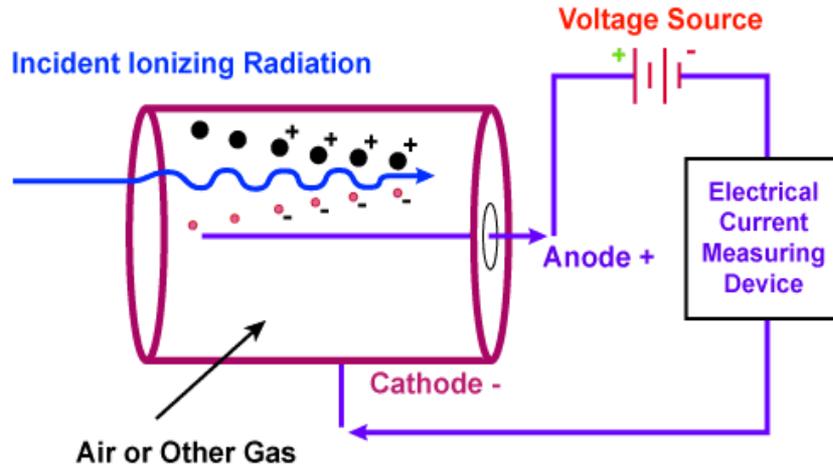


# Tipos de detectores de radiación

De respuesta inmediata



# Detectores llenados con gas



Gas	W (eV/par)
H2	37
He	41
N2	35
O2	31
Aire	35
Ne	36
Ar	26

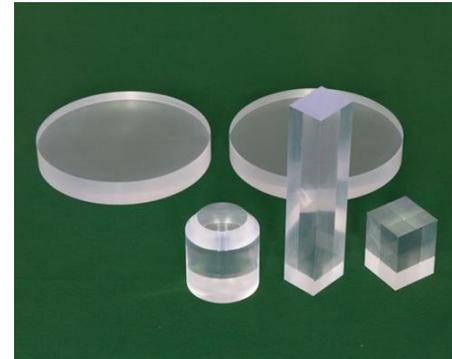
Fotón 1 MeV en aire (sin multiplicación) =  $28.5 \times 10^3 e$  =  $4.57 \times 10^{-15} C$

[http://nuclear.fis.ucm.es/webgrupo/labo/Lab\\_Detector\\_Gaseoso.html](http://nuclear.fis.ucm.es/webgrupo/labo/Lab_Detector_Gaseoso.html)

- Más común: geometría cilíndrica.
- Cuerpo cerrado o cuerpo abierto.
- Sencillo y económico, pero baja eficiencia.

# Centelladores

Un centellador es un material que exhibe luminiscencia cuando por él pasa radiación ionizante (electrones, positrones u otras partículas o iones más pesados). Esto se produce porque el material absorbe parte de la energía de la partícula incidente y la reemite en forma de un corto destello de luz, típicamente en el rango de la luz visible. Si esta reemisión es rápida (en menos de unos  $10^{-8}$  s), el fenómeno se conoce como fluorescencia. De lo contrario, si la excitación es metaestable y dura de microsegundos a horas, el fenómeno se conoce como fosforescencia.



# Centelladores

Propiedades deseables de un centellador ideal:

- a) La conversión eficiente de la energía incidente de las partículas cargadas en el material centellador, en energía luminosa.
- b) La intensidad de la energía luminosa obtenida en el proceso de luminiscencia en el centellador es proporcional a la energía depositada en el material centellador (LINEALIDAD).
- c) El material centellador es transparente a su emisión.
- d) El tiempo de decaimiento de la luminiscencia inducida es de aproximadamente  $10^{-9}$  s para centelladores plásticos.
- e) El índice de refracción es del orden de 1.5, lo que permite una eficiente transmisión de luz para el tubo fotomultiplicador.
- f) Dos tipos de materiales centelladores:
  - ORGANICOS
  - INORGÁNICOS.



# Centelladores Inorgánicos

Properties of Common Inorganic Scintillators

	Specific Gravity	Wavelength of Max. Emission	Refractive Index	Decay Time ( $\mu$ s)	Abs. Light Yield in Photons/MeV	Relative Pulse Height Using Bialk. PM tube	References
<b>Alkali Halides</b>							
NaI(Tl)	3.67	415	1.85	0.23	38 000	1.00	
CsI(Tl)	4.51	540	1.80	0.68 (64%), 3.34 (36%)	65 000	0.49	78, 90, 91
CsI(Na)	4.51	420	1.84	0.46, 4.18	39 000	1.10	92
Li(Eu)	4.08	470	1.96	1.4	11 000	0.23	
<b>Other Slow Inorganics</b>							
BGO	7.13	480	2.15	0.30	8200	0.13	
CdWO <sub>4</sub>	7.90	470	2.3	1.1 (40%), 14.5 (60%)	15 000	0.4	98–100
ZnS(Ag) (polycrystalline)	4.09	450	2.36	0.2		1.3°	
CaF <sub>2</sub> (Eu)	3.19	435	1.47	0.9	24 000	0.5	
<b>Unactivated Fast Inorganics</b>							
BaF <sub>2</sub> (fast component)	4.89	220		0.0006	1400	na	107–109
BaF <sub>2</sub> (slow component)	4.89	310	1.56	0.63	9500	0.2	107–109
CsI (fast component)	4.51	305		0.002 (35%), 0.02 (65%)	2000	0.05	113–115
CsI (slow component)	4.51	450	1.80	multiple, up to several $\mu$ s	varies	varies	114, 115
CeF <sub>3</sub>	6.16	310, 340	1.68	0.005, 0.027	4400	0.04 to 0.05	76, 116, 117
<b>Cerium-Activated Fast Inorganics</b>							
GSO	6.71	440	1.85	0.056 (90%), 0.4 (10%)	9000	0.2	119–121
YAP	5.37	370	1.95	0.027	18 000	0.45	78, 125
YAG	4.56	550	1.82	0.088 (72%), 0.302 (28%)	17 000	0.5	78, 127
LSO	7.4	420	1.82	0.047	25 000	0.75	130, 131
LuAP	8.4	365	1.94	0.017	17 000	0.3	134, 136, 138
<b>Glass Scintillators</b>							
Ce activated Li glass <sup>b</sup>	2.64	400	1.59	0.05 to 0.1	3500	0.09	77, 145
Tb activated glass <sup>b</sup>	3.03	550	1.5	~3000 to 5000	~50 000	na	145
<b>For comparison, a typical organic (plastic) scintillator:</b>							
NE102A	1.03	423	1.58	0.002	10 000	0.25	



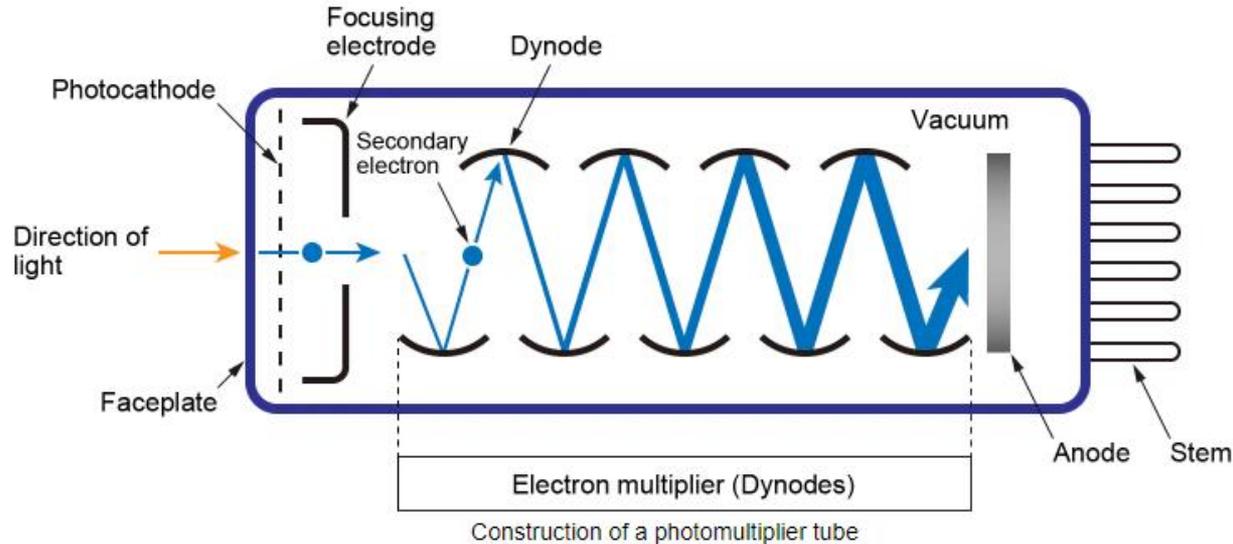
# Centelladores Inorgánicos

Properties of Some Commercially Available Organic Scintillators

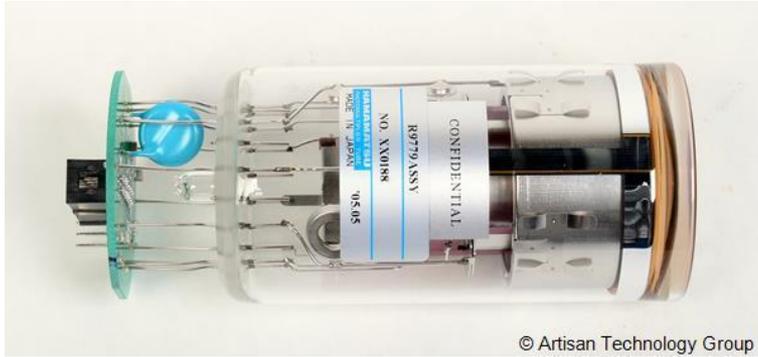
Eljen	Bicron	Light Output %Anthracene*	Wavelength of Max Emission (nm)	Decay Constant (ns)	Attenuation Length (cm)	Refractive Index	H/C Ratio	Density	Loading Element % by weight or dist. feature	Softening or Flash Point (°C)	Uses
<b>Crystal</b>											
Anthracene		100	447	30		1.62	0.715	1.25		217	
Stilbene		50	410	4.5		1.626	0.858	1.16		125	
<b>Plastic</b>											
EJ-212	BC-400	65	423	2.4	250	1.581	1.103	1.032		70	General purpose
EJ-204	BC-404	68	408	1.8	160	1.58	1.107	1.032	1.8 ns time constant	70	Fast counting
EJ-200	BC-408	64	425	2.1	380	1.58	1.104	1.032		70	TOF counters, large area
EJ-208	BC-412	60	434	3.3	400	1.58	1.104	1.032	Longest attn. length	70	General purpose, large area, long strips
	BC-420	64	391	1.5	110	1.58	1.100	1.032	1.5 ns time constant	70	Ultrafast timing, sheet areas
EJ-232	BC-422	55	370	1.4	8	1.58	1.102	1.032	1.4 ns time constant	70	Very fast timing, small sizes
	BC-422Q	11	370	0.7	< 8	1.58	1.102	1.032	Benzophenone, 1%	70	Ultrafast timing, ultrafast counting
	BC-428	36	480	12.5	150	1.58	1.103	1.032	Green emitter	70	Photodiodes and CCDs; phoswich detectors
	BC-430	45	580	16.8	NA	1.58	1.108	1.032	Red emitter	70	Silicon photodiodes and red-enhanced PMTs
EJ-248	BC-434	60	425	2.2	350	1.59	0.995	1.049	High temp	100	General purpose
	BC-436	52	425	2.2	NA	1.61	0.960 D:C	1.130	Deuterium, 13.8%	90	Thin disks
EJ-240	BC-444	41	428	2.85	180	1.58	1.109	1.032		70	Phoswich detectors for <i>dE/dx</i> studies
EJ-256	BC-452	32	424	2.1	150	1.58	1.134	1.080	Lead, 5%	60	X-ray dosimetry (< 100 keV)
	BC-454	48	425	2.2	120	1.58	1.169	1.026	Boron, 5%	60	Neutron spectrometry, thermal neutrons
EJ-252	BC-470	46	423	2.4	200	1.58	1.098	1.037	Air equivalent	65	Dosimetry
	BC-490	55	425	2.3		1.58	1.107	1.030	Casting resin	70	General purpose
	BC-498	65	423	2.4		1.58	1.103	1.032	Applied like paint	70	$\beta$ , $\gamma$ detection
<b>Liquid</b>											
EJ-301	BC-501A	78	425	3.2			1.212	0.874	Pulse shape discrim.	26	$\gamma$ > 100 keV, fast n spectroscopy
EJ-305	BC-505	80	425	2.5			1.331	0.877	High light output	47	$\gamma$ , fast n, large volume
EJ-313	BC-509	20	425	3.1			0.0035	1.61	F	10	$\gamma$ , fast n
EJ-321H	BC-517H	52	425	2.0			1.89	0.86	Mineral oil-based	81	$\gamma$ fast n, cosmic, charged particles
	BC-517P	28	425	2.2			2.05	0.85	Mineral oil-based	115	$\gamma$ , fast n, cosmic, charged particles
EJ-325	BC-519	60	425	4.0			1.73	0.875	Pulse shape discrim.	74	$\gamma$ , fast n, n- $\gamma$ discrimination
EJ-331	BC-521	60	425	4.0			1.31	0.89	Gd (to 1%)	44	Neutron spectrometry, neutrino research
EJ-339	BC-523A	65	425	3.7			1.67	0.93	Enriched $^{10}\text{B}$	1	Total absorption neutron spectrometry
EJ-335	BC-525	56	425	3.8			1.57	0.88	Gd (to 1%)	64	Neutron spectrometry, neutrino research
	BC-533	51	425	3.0			1.96	0.8	Low temp operation	65	$\gamma$ , fast n, cosmic
	BC-537	61	425	2.8			.99 (D:C)	0.954	$^2\text{H}$	-11	Fast n, pulse shape discrimination
	BC-551	40	425	2.2			1.31	0.902	Pb (5% w/w)	44	$\gamma$ , X-rays < 200 keV
	BC-553	34	425	3.8			1.47	0.951	Sn (10% w/w)	42	$\gamma$ , X-rays

# Tubo fotomultiplicador

- La luz emitida por un centellador es muy débil.
- Un tubo PM convierte la luz emitida por el centellador en corriente eléctrica
- Partes principales: fotocátodo, dínodos, ánodo

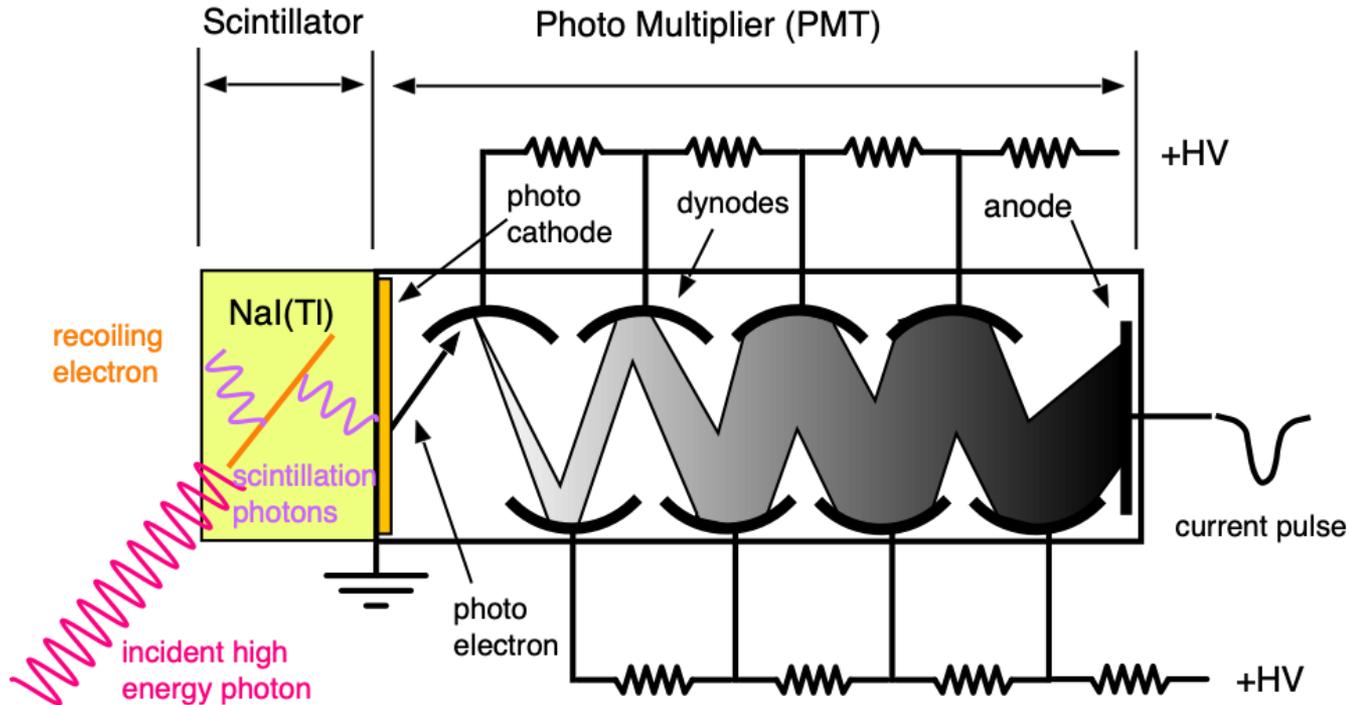


# Tubos fotomultiplicadores



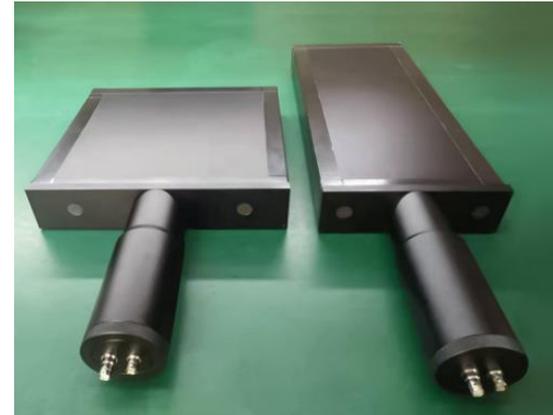
# Detector de Centelleo

- Cristal centellador + Tubo fotomultiplicador





# Detector de Centelleo



# Bibliografía

- OIEA (2007) – Identificación de fuentes y dispositivos radaictivos, Colección de seguridad física nuclear N5
- OIEA (2018) – Glosario de seguridad del OIEA
- ICRU report 95 (2020): Operational Quantities for External Radiation Exposure
- IPEN (2023) – Curso Intermedio de Protección Radiológica
- Miller, K. L. (1992). CRC Handbook of management of Radiation Protection Programs, second Edition (2a ed.). CRC Press.



**GRACIAS!!!**

Contacto:

- [samuelsaenz1119@gmail.com](mailto:samuelsaenz1119@gmail.com)
- [Shamuel.saenz.s@uni.pe](mailto:Shamuel.saenz.s@uni.pe)
- [ssaenz@ipen.gob.pe](mailto:ssaenz@ipen.gob.pe)
- [rrsaenzs@unac.edu.pe](mailto:rrsaenzs@unac.edu.pe)

### 3. MONITORES DE RADIACIÓN Y SISTEMAS DE DETECCIÓN

- Inicie el test ingresando a [joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) y coloque el código 67614288, también por el enlace <https://quizizz.com/join?gc=67614288>; o por el código QR:
- Ingrese al test colocando su primer apellido, seguido de su primer nombre. Por ejemplo: Saenz, Shamuel
- Presione el botón **INICIAR**, responda las preguntas de acuerdo al tiempo establecido
- Sólo intente el test 1 sola vez, trate de tener una conexión estable de internet
- Terminado el test podrá visualizar su puntuación, luego espere las indicaciones del moderador.

Ingrese su Nombre

APELLIDO Y NOMBRE

**INICIAR**



Una vez empezado tienes **10 minutos** para terminarlo.  
Marca las respuestas que consideres correctas:

CÓDIGO DE TEST:

**6761 4288**

			CLASE N°1			
N°	INTEGRANTES	Participación 10/5	QUIZIZZ 1 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 1 (Salida) 20/5
4	Mariluz Quispe Quispe	0	8	A	A	5
5	Luz Medaly Cusihuata Mercado	0	12	A	A	5
6	Diego Esteban Garces Lovon	5	12	A	A	10
13	Arturo Leonell Gomez Tarco	0	12	A	A	10
14	Julio Cesar Huanca Apolino	5	12	A	F	10
15	Esteban Omar Vargas Palomino	5	12	A	A	10
21	Ricardo Surco Aslla	0	0	A	F	0

10	0.5	5
20	0.2	4
20	0.2	4
	4	4
	3	3
		20

**CURSO "FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA EI**

<b>CLASE N°2</b>								
<b>Nota Concepto (Clase)</b>	<b>Participación 10/5</b>	<b>QUIZIZZ 2 (Entrada) 20/4</b>	<b>Asistencia 1/4</b>	<b>Encuesta docente 1/3</b>	<b>QUIZIZZ 2 (Salida) 20/4</b>	<b>Nota Concepto (Clase)</b>	<b>Participación 10/5</b>	<b>QUIZIZZ 3 (Entrada) 20/4</b>
9.6	0	20	A	A	12	13.4	1	8
10.4	1	20	A	A	12	13.9	4	20
13.9	10	16	A	A	8	16.8	6	20
11.4	0	16	A	A	0	10.2	1	8
10.9	4	12	A	A	4	12.2	2	0
13.9	6	5	A	A	16	14.2	3	20
4.0	3	16	A	F	16	11.9	7	20

## ENERGÍA NUCLEAR"

CLASE N°3				CLASE N°4				
Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 3 (Salida) 20/4	Nota Concepto (Clase)	Participación 10/5	QUIZIZZ 4 (Entrada) 20/4	Asistencia 1/4	Encuesta docente 1/3	QUIZIZZ 4 (Salida) 20/4
A	A	16	12.3	0	8	A	F	4
A	A	12	15.4	2	8	A	A	16
A	A	16	17.2	5	12	A	F	0
A	A	0	9.1	3	4	A	F	16
A	A	4	8.8	7	4	A	F	8
A	A	12	14.9	5	4	A	F	12
A	A	8	16.1	0	0	A	F	0

							<b>PROMEDIO FINAL</b>	
<b>CLASE N°5</b>								
<b>Nota Concepto (Clase)</b>	<b>Participación 10/5</b>	<b>QUIZIZZ 5 (Entrada) 20/4</b>	<b>Asistencia 1/4</b>	<b>Encuesta docente 1/3</b>	<b>QUIZIZZ 5 (Salida) 20/4</b>	<b>Nota Concepto (Clase)</b>	<b>Nota Concepto (Clase)</b>	
<b>6.4</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>8</b>	<b>12.3</b>	<b>10.8</b>	
<b>12.8</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>16</b>	<b>13.9</b>	<b>13.3</b>	
<b>8.9</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>8</b>	<b>11.0</b>	<b>13.6</b>	
<b>9.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>0</b>	<b>7.0</b>	<b>9.4</b>	
<b>9.9</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>0</b>	<b>8.0</b>	<b>10.0</b>	
<b>9.7</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>16</b>	<b>13.3</b>	<b>13.2</b>	
<b>4.0</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>16</b>	<b>15.1</b>	<b>10.2</b>	

Puntaje adicional	
-------------------	--

> 4°	0.5
> 3°	1.0
> 1°	1.0

> 5°	0.5
> 2°	1.0
> 6°	0.5

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario (**mariluz.quispe.q@uni.pe**) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicarselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Quispe Quispe Mariluz

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la que contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF<sub>3</sub>
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

ninguna

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario (**mdap337@gmail.com**) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicarselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Cusihuata Mercado Luz Medaly  
.....

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF3
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

Ninguna

---

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario ([120461@unsaac.edu.pe](mailto:120461@unsaac.edu.pe)) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicarselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Garces Lovon Diego Esteban

---

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la que contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF<sub>3</sub>
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

Gracias

---

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario ([algomezt@unac.edu.pe](mailto:algomezt@unac.edu.pe)) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicárselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Gomez Tarco Arturo Leonell  
.....

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF<sub>3</sub>
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

Excelente curso

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario ([ces4r1200@gmail.com](mailto:ces4r1200@gmail.com)) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicarselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Huanca Apolino Julio Cesar  
.....

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la que contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF<sub>3</sub>
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

el desarrollo de los temas en el transcurso de las reuniones han sido beneficiosas para el aprendizaje de la energía nuclear y sus aplicaciones.

---

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario ([surcoasllaricardo@gmail.com](mailto:surcoasllaricardo@gmail.com)) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicarselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Surco Aslla Ricardo

---

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la que contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF<sub>3</sub>
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

Me gustó el curso, muchas gracias.

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

# EXAMEN FINAL DEL CURSO "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR"

El presente examen es para evaluar el desempeño del estudiante durante las 5 sesiones de los diferentes temas vistos en el curso "FUNDAMENTO BÁSICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR".

El correo electrónico del destinatario ([eovargasp@unac.edu.pe](mailto:eovargasp@unac.edu.pe)) se registró al enviar el formulario.

Considerar lo siguiente antes de tomar su examen:

1. Prender su cámara durante la toma de toda la prueba
  2. Leer bien las preguntas para contestar, algunas tienen más de una alternativa (esta indicado en la pregunta)
  3. Considerar que las demás preguntas que no tengan indicación sólo tienen una sola respuesta
  4. Colocar su teléfono en modo avión o vibrar para no interrumpirlo durante el examen
  5. Tratar de tomarse el tiempo necesario para contestar correctamente el examen; la nota más alta obtenida servirá como referencia este examen.
  6. Enviar solo una respuesta, se considerará la primer respuesta enviada
  7. Si hubiera algún problema o consulta, favor de comunicarselo al moderador de la sala
- Impartido el día 15/08/2024 - 18:15 h, duración 50 minutos.

Coloque sus apellidos y nombres completos: \*

Vargas Palomino Esteban Omar  
.....

Pregunta 1. ¿Qué tipo de partículas se encuentran en el núcleo del átomo?. (Existe más de una respuesta) \*

- Protones
- Neutrones
- Electrones
- Positrones

Pregunta 2. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

La actividad del Pu-235, depende de su densidad, color, estado de la materia.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 3. ¿Qué proceso de interacción de la radiación con la materia es poco relevante en el siguiente grupo mostrado? \*

- Efecto fotoelectrico
- Dispersión de compton
- Creación y aniquilación de pares
- Conversión interna

Pregunta 4. ¿Cuál no es un proceso de interacción con los neutrones? \*

- Conversión interna
- Captura radiactiva
- Fisión nuclear
- Scattering (dispersión)

Pregunta 5. ¿Qué tipo de instalación nuclear es el IPEN? \*

- Reactor nuclear de investigación
- Central nuclear de potencia
- Reactor de fusión nuclear
- Colisionador de hadrones

Pregunta 6. Marque verdadero o falso según corresponda. \*

A mayor distancia de la fuente mayor radiación recibo.

- Verdadero
- Falso

Pregunta 7. La dosis equivalente tiene sus unidades en: \*

- Curie (Ci)
- Becquerel (Bq)
- Gray (Gy)
- Sievert (Sv)

Pregunta 8. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ es la cantidad de energía ionizante absorbida por la unidad de masa de tejido u órgano.

- Dosis efectiva
- Dosis absorbida
- Dosis equivalente
- Actividad absorbida

Pregunta 9. Complete el siguiente enunciado con la respuesta correcta: \*

La \_\_\_\_\_ puede estar relacionada con la \_\_\_\_\_, ya que el material radiactivo puede ser absorbido a través de la piel y/o a través de heridas.

- Contaminación externa - exposición interna
- Contaminación interna - atenuación
- Optimización - blindaje
- Exposición interna - contaminación externa

Pregunta 10. Resuelva este ejercicio, si un órgano como el hígado recibe una dosis absorbida de 5 mGy debido a fotones, y 2 mGy debido a partículas alfa, se calculará la dosis equivalente en el hígado. \*

Considerar:

\* Factor de ponderación "Wr" gamma : 1

\* Factor de ponderación "Wr" alfa : 20

- 45 mSv
- 102 mSv
- 51 mSv
- 90 mSv

Pregunta 11. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una cámara de ionización? \*

- Detectar radiación mediante la ionización de un gas
- Detectar neutrones térmicos
- Detectar partículas alfa mediante la producción de luz
- Detectar la radiación partículas beta

Pregunta 12. ¿Qué material es comúnmente usado en detectores de centelleo para la detección de radiación gamma? \*

- NaI(Tl), ioduro de sodio
- B, boro
- U, uranio
- H, hidrógeno

Pregunta 13. ¿Por qué se utiliza un dosímetro en la vigilancia radiológica? \*

- Porque se registra la dosis acumulada de radiación recibida por una persona.
- Porque se mide la dosis ambiental de radiación en tiempo real.
- Porque nos ayuda a una mejor manipulación de la fuente radiactiva.
- Porque registra la dosis ambiental de la radiación recibida en el medio ambiente.

Pregunta 14. ¿Qué componente en un sistema de detección nuclear convierte la señal de luz a una señal eléctrica? \*

- Amplificador
- Fuente de alta tensión
- Cristal de Ioduro de Sodio
- Tubo fotomultiplicador

Pregunta 15. Marque la(s) alternativa(s) correcta(s). \*

¿Cuál es la ventaja de los detectores de germanio hiperpuro (GeHP) en espectrometría gamma?

- Baja capacidad de detección de neutrones
- Baja capacidad de detección gamma
- Alta eficiencia energética
- Alta resolución energética

Pregunta 16. ¿Qué tipo de radiación es la que contribuye mayormente a la dosis ambiental? \*

- Neutrones
- Gamma
- Rayos X
- Alfa

Pregunta 17. ¿Cuáles son las cadenas radiactivas mayormente estudiadas en radiometría ambiental? \*

- Cadena del Actinio-227
- Cadena del Uranio-238
- Cadena del Plutonio-238
- Cadena del Potasio-40

Pregunta 18. ¿Qué tipo de detectores con alta resolución se pueden utilizar para cualificar y cuantificar la radiactividad natural? \*

- Detector de INa
- Detector de GeHP
- Detector de BF<sub>3</sub>
- Detector de He-3

Pregunta 19. ¿Cuál es la unidad habitual que se utiliza para expresar la radiactividad natural? \*

- Actividad -> Ci
- Concentración de actividad -> Bq/kg
- Dosis absorbida -> Gray
- Tasa de dosis equivalente -> Sievert/s

Pregunta 20. ¿Cuáles son los materiales de referencias que no se podrían utilizar en radiometría ambiental de suelos? \*

- IAEA 464, Arroz integral
- IAEA 412, Sedimento del océano pacifico
- IAEA 465, Sedimento del mar báltico
- IAEA 478, Suelo agricola

Pregunta 21. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones utiliza radioisótopos para medir la velocidad de fluidos en tuberías? \*

- Radioterapia Externa
- Trazadores
- Datación Radiocarbónica
- Producción de Radiofármacos

Pregunta 22. ¿Qué radioisótopo se utiliza comúnmente en gammagrafía industrial para inspección de soldaduras? \*

- Uranio-238
- Carbono-14
- Iridio-192
- Sodio-24

Pregunta 23. ¿Cuál es la principal ventaja de la investigación continua en aplicaciones de la energía nuclear? \*

- Reducir la cantidad de residuos radiactivos
- Mejorar la eficiencia y seguridad de las aplicaciones existentes
- Limitar el uso de radioisótopos a la medicina
- Disminuir los costos de producción

Pregunta 24. ¿Que problemas afectarían negativamente a la investigación eficaz? (Existe más de una respuesta) \*

- Inadecuada designación de autoridades
- Inapropiado plan de trabajo
- Reducido numero de investigadores especializados
- Realizar un esquema de matriz de Ichikawa para verificar la relación de causa efecto del problema

Pregunta 25. ¿Qué significa I+D+i? \*

- Investigación, desarrollo, innovación
- Investigación, desarrollo, invención
- Innovación, desarrollo, investigación
- Investigación, difusión, invención

Escriba algún comentario o sugerencia: \*

Buen curso. Gran profesor Samuel Saenz y Victor Viera

---

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios