



GOBIERNO DE CHILE  
Secretaría Regional Ministerial de Salud  
Región Metropolitana



**RELATORES:**    **ING. HERNÁN CORTÉS JARA**  
                          **ING. JORGE DÍAZ RIVERA**  
                          **ING. OSVALDO HIDALGO JORQUERA**  
                          **ING. BORIS TORRES COFRÉ**  
                          **ING. SERGIO SOTO SOTO**  
                          **ENF. M. ANGELES VIÑAS**

**2006**

**SUBDEPARTAMENTO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y SALUD LABORAL**  
**DEPARTAMENTO ACCIÓN SANITARIA**

## INTRODUCCIÓN

*En el último tiempo hemos sido testigos de un importante incremento en el uso de equipos que emiten radiaciones ionizantes, destacando el área de la Salud Asistencial, en donde se utilizan como equipos de diagnóstico y terapéuticos.*

*Del mismo modo, este crecimiento también motiva una gran preocupación desde el punto de vista del riesgo de exposición laboral del personal que opera estos equipos, de quienes se encuentran trabajando en sus cercanías, de los pacientes y otros usuarios que acuden diariamente a los centros asistenciales de salud. Y con mayor razón aún, nos inquieta el manejo de los residuos resultantes, para prevenir los serios impactos ambientales que estos pueden ocasionar.*

*En la Región Metropolitana, a la Secretaría Regional Ministerial de Salud le corresponde precisamente prevenir los riesgos a la salud de las personas derivados del entorno. Y en este vasto campo se encuentra la prevención y control de estos equipos críticos, a través del Subdepartamento de Prevención de Riesgos y Salud Laboral, cuyos profesionales han evaluado la situación que registran los centros asistenciales en esta materia, observándose la necesidad de difundir y profundizar el conocimiento de la reglamentación, medidas de prevención y otras recomendaciones en el manejo, a quienes son responsables de la operación de estos equipos.*

*Por estas razones la SEREMI de Salud, a través de su Coordinación Técnica del Área de Radiaciones del Subdepartamento de Prevención de Riesgos y Salud Laboral, ha preparado esta **novena versión** del “**Curso de Protección Radiológica**”, destinado a personal de los Servicios de Salud de esta Región, el cual les permitirá, una vez aprobado, optar a la **Autorización de Desempeño Instalaciones Radiactivas**, con el objeto de concluir la regularización de esta importante área de riesgo ocupacional.*

*Esperando que este esfuerzo permita alcanzar los objetivos propuestos y que continuemos acrecentando en el futuro los vínculos que nos unen, esta Secretaría les desea el mayor de los éxitos.*

**“Dejamos de temer aquello que se ha aprendido a entender”**

**Marie Curie..(1867-1934) Científica francesa nacida en Polonia.**

Ing. Jorge Díaz Rivera  
Jefe Unidad de Formalización  
SubDepto Prevención de Riesgos y Salud Laboral

## ÍNDICE DE MATERIAS

Nº Pág

### **CAPÍTULO I : Introducción**

- 1.1.- Las radiaciones ionizantes como problema de salud pública y el problema de salud ocupacional. 1
- 1.2.- Aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo médico e industrial 2
- 1.3.- Las radiaciones ionizantes y nuestra histórica convivencia 4

### **CAPÍTULO II : Teoría del átomo**

- 2.1.- Breve Historia 6
- 2.2.- Modelo atómico 6
- 2.3.- Estructura atómica 7
- 2.4.- Número atómico y Número másico 7
- 2.5.- Clasificación de los átomos 8
- 2.6.- Radiaciones ionizantes 8
- 2.7.- Energía de las radiaciones ionizantes 9
- 2.8.- Desintegraciones Alfa, Beta y Gamma 9
- 2.9.- Interacción de las radiaciones ionizantes con la materia 11
- 2.10.- La radiación electromagnética 12
- 2.11.- Definiciones 12
- 2.12.- Espectro electromagnético 13
- 2.13.- Interacción de las radiación electromagnética con la materia 14

### **CAPÍTULO III : Magnitudes y Unidades**

- 3.1.- Actividad 16
- 3.2.- Exposición y Dosis 16
- 3.3.- Tabla de radionucleídos 21
- 3.4.- Ley de desintegración radiactiva 23
- 3.5.- Cuestionario: Elementos de física nuclear 25
- 3.6.- Cuestionario: Magnitudes y Unidades 26

### **CAPÍTULO IV : Elementos de Rayos X**

- 4.1.- Introducción y Naturaleza 27
- 4.2.- Origen y Espectro 28
- 4.3.- Propiedades 30
- 4.4.- Aplicaciones Médicas 30
- 4.5.- Radiación Secundaria 31
- 4.6.- Requisitos Básicos de Radioprotección en el Uso de Rayos X médicos 32
- 4.7.- Cuestionario: Generación de Rayos X 34

### **CAPÍTULO V : Efectos biológicos de las Radiaciones Ionizantes**

- 5.1.- Efectos biológicos de las Radiaciones Ionizantes 35
- 5.2.- (A) Efectos agudos (no estocásticos o determinísticos) 39
- 5.3.- (B) Efectos estocásticos 41
- 5.4.- Cuestionario: Efectos de las Radiaciones Ionizantes en los seres vivos 42

## ÍNDICE DE MATERIAS

Nº Pág

### **CAPÍTULO VI : Detección de la Radiación Ionizante**

- 6.1.- Detección de las Radiaciones Ionizantes 43
- 6.2.- Detectores de Radiación 43
- 6.3.- Cuestionario: Detección de la radiación ionizante 47

### **CAPÍTULO VII : Principios de Protección Radiológica**

- 7.1.- Principios Básicos de Protección Radiológica (Sistema) 48
- 7.2.- Protección contra las radiaciones ionizantes (Métodos) 49
- 7.3.- Cuestionario: Principios de Protección Radiológica 57

### **CAPÍTULO VIII : Protección Radiológica Operacional**

- 8.1.- Objetivo 58
- 8.2.- Condiciones de Trabajo 58
- 8.3.- Utilización de los Métodos de Protección 61
- 8.4.- Manejo de Fuentes Radiactivas 66
- 8.5.- Vigilancia Radiológica 66
- 8.6.- Transferencia de Fuentes Radiactivas 71
- 8.7.- Dosimetría Personal 71
- 8.8.- Vigilancia Médica Radiológica 72
- 8.9.- Condiciones Mínimas de Seguridad en Instalaciones Radiactivas 73
- 8.10.- Cuestionario: Protección Radiológica Operacional 77

### **CAPÍTULO IX : Gestión de Desechos Nucleares y Radiactivos**

- 9.1.- Introducción 78
- 9.2.- Origen 78
- 9.3.- Tipificación 78
- 9.4.- Clasificación 79
- 9.5.- Tratamiento y Acondicionamiento 79
- 9.6.- Tipos de Tratamiento 80
- 9.7.- Acondicionamiento 80
- 9.8.- Transporte 81
- 9.9.- Almacenamiento 82
- 9.10.- Cuestionario: Gestión de desechos radiactivos 83

### **CAPÍTULO X : Legislación Nuclear en Chile**

- 10.1.- Ley de Seguridad Nuclear (Ley N° 18.302) 84
- 10.2.- Alcances de la Ley N° 18.730 84
- 10.3.- Autoridades Competentes 85
- 10.4.- Reglamentación (D.S. N° 133/84 y D.S. N° 3/85 Minsal) 85
- 10.5.- Cuestionario: Legislación Nuclear Chilena 88

### **BIBLIOGRAFÍA**

89

## CAPÍTULO I. - INTRODUCCIÓN

### 1.1.- LAS RADIACIONES IONIZANTES COMO PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA Y EL PROBLEMA DE SALUD OCUPACIONAL

#### 1.1.1.- Las radiaciones ionizantes en el ámbito de la salud ocupacional

##### ¿A qué apunta la Protección Radiológica?

La protección radiológica como parte de la Prevención de Riesgos apunta a evitar que el agente físico, entre en contacto con la persona u operador, o que estos reciban dosis innecesarias o de alto riesgo.

##### ¿Quiénes están expuestos?

Debemos señalar que las personas expuestas a este riesgo son aquellas que se desempeñan en el campo del radiodiagnóstico Médico y Dental., Medicina Nuclear, Investigación, Industria y la Construcción.

##### ¿Dónde se produce el mayor uso de los Radioisótopos?

En primer término debemos señalar el Radiodiagnóstico Médico (Medicina Nuclear, R.I.A.), luego le sigue el campo industrial y la Investigación.

### 1.2.- APLICACIONES DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN EL CAMPO MÉDICO E INDUSTRIAL

#### 1.2.1.- Aplicaciones de los rayos X

##### 1.2.1.1.- Aplicaciones médicas

Se especifican a continuación algunas aplicaciones de los Rayos-X con fines médicos.

##### 1.2.1.1.1.- Radiografía

La obtención de la información se logra por “**proyección**” del órgano de interés sobre una placa radiográfica y constituye por tanto un método estático. Su principio de funcionamiento se basa en la variación del haz primario de Rayos-X, debido a la absorción del órgano o tejido (espesores y densidades distintas).

Los parámetros típicos de estos equipos de Rayos-X, son:

<b>Kilovoltaje</b>	:	<b>80 a 150 kV.</b>
<b>Corriente</b>	:	<b>20 a 500 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>0,1 a 2 seg.</b>

##### 1.2.1.1.2.- Fluoroscopia- Radioscopia

Estos sistemas permiten realizar estudios dinámicos del funcionamiento de un determinado órgano. En el caso de la fluoroscopia, la imagen se proyecta sobre una

pantalla fluorescente de Sulfuro de Zinc y sus parámetros típicos de funcionamiento son:

<b>Kilovoltaje</b>	:	<b>60 a 90 kV.</b>
<b>Corriente</b>	:	<b>5 a 10 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>0,5 a 1 min.</b>

La radioscopía en cambio, parte de la base de una imagen primaria débil, la que es amplificada electrónicamente (intensificadores), visualizándose en un monitor de televisión. En consecuencia, permite reducir la corriente (mA) a 1 ó 2 mA a igualdad de kilovoltaje, con lo que se logra disminuir la dosis al paciente o aumentar el tiempo de observación, lo que en algunos casos alcanza hasta los 5 minutos.

#### 1.2.1.1.3.- Dental

La radiografía dental constituye un caso especial. Normalmente estos equipos son diseñados para corriente y kilovoltaje fijos, permitiendo variar sólo el tiempo de exposición. Sus valores típicos de funcionamiento son:

<b>Kilovoltaje</b>	:	<b>50 a 70 kV.</b>
<b>Corriente</b>	:	<b>1 a 10 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>0,1 a 2 seg</b>

#### 1.2.1.1.4.- Terapia (Roentgenterapia)

El objetivo perseguido es la destrucción de tejidos tumorales malignos mediante altas dosis de radiación. En este caso se hace necesaria una perfecta localización del tejido a irradiar, así como el control de la dosis aplicada para evitar dañar los tejidos adyacentes sanos.

Según su aplicación, se distinguen tres tipos de estos equipos:

<b>Terapia superficial</b>	:	<b>20 a 80 kV.</b>
<b>Terapia intermedia</b>	:	<b>hasta 250 kV.</b>
<b>Terapia profunda</b>	:	<b>hasta 500 kV.</b>

#### 1.2.1.2.- Aplicaciones Industriales

Se mencionan a continuación algunas aplicaciones en el campo de la industria.

##### 1.2.1.2.1.- Control de Calidad (Radiografía Industrial)

Este tipo de aplicaciones, así como su principio, es similar a la radiografía médica. Sin embargo, tratándose de examinar materiales muy densos, generalmente metales, el kilovoltaje y el tiempo de exposición son mucho mayores, usándose en cambio corrientes débiles. Sus valores de funcionamiento son:

<b>Kilovoltaje</b>	:	<b>250 a 500 kV.</b>
<b>Corriente</b>	:	<b>4 a 8 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>1 a 10 min.</b>

### 1.2.1.2.2.- Fluoro-Radioscopia (Cheque y Fiscalización)

Este equipo se usa para materiales de densidades medias, tales como: plástico, caucho, madera, etc. Sus parámetros de funcionamiento son:

<b>Kilovoltaje</b>	:	<b>50 a 120 kV.</b>
<b>Corriente</b>	:	<b>5 a 10 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>0,5 a 5 min.</b>

### 1.2.1.3.- Aplicaciones Científicas

Se mencionan sólo algunas de estas aplicaciones.

#### 1.2.1.3.1.- Cristalografía (Estructuras de Materiales)

Estas técnicas utilizan el fenómeno de difracción generado por los cristales con el objeto de determinar la estructura atómica de los materiales. Un difractor típico funciona con los siguientes parámetros:

<b>Kilovoltaje.</b>	:	<b>20 a 50 kV.</b>
<b>Corriente.</b>	:	<b>10 a 20 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>hasta 20 h.</b>

#### 1.2.1.3.2.- Espectrometría (Análisis Químico)

Se trata de una importante herramienta de análisis no destructivo, en base a la identificación y cuantificación del espectro característico emitido por las muestras a analizar. Los espectrómetros excitados por Rayos-X funcionan con los siguientes parámetros:

<b>Kilovoltaje</b>	:	<b>20 a 30 kV.</b>
<b>Corriente</b>	:	<b>30 a 40 mA.</b>
<b>Tiempo de exposición</b>	:	<b>1 a 5 h.</b>

### 1.2.1.4.- Aplicaciones de los radioisótopos

Son múltiples los usos, como ejemplo podemos citar lo siguiente:

- Radioisótopos de aplicación en: Medicina Nuclear  
Industria  
Investigación
- Cobaltoterapia, Bombas de Cobalto
- Radioisótopos de aplicación médica (Cáncer): Radio-226, Cesio-137

### 1.2.2.1.- FUENTES DE RADIACIÓN NATURAL.

FUENTE	DOSIS EQUIVALENTE (mSv/año)
Radiación cósmica: Protones, partículas alfa, fotones, neutrones, electrones y neutrinos y los principales radionucleidos cosmogénicos ( $H^3$ , $Be^7$ , $C^{14}$ , $Na^{22}$ ).	0,35
Del planeta: Miembros de las familias radiactivas del $U^{238}$ , $U^{235}$ , $Th^{232}$ .	1,30
Elementos radiactivos del cuerpo humano: $K^{40}$ y $Rb^{87}$ .	0,25

### 1.2.2.2.- FUENTES DE RADIACIÓN ARTIFICIAL.

FUENTE	DOSIS EQUIVALENTE (mSv/año)
Precipitación radiactiva: Fallout, que corresponde a residuos de explosiones nucleares ( $Cs^{137}$ y $I^{131}$ ).	0,02
Exámenes médicos: Rayos-X, Radioterapia, Medicina nuclear, etc.	0,60
Viajes aéreos, etc.	0,03
Centrales nucleares.	0,00003

Es importante destacar que la contribución de dosis debido a centrales nucleares es muy pequeña comparada por ejemplo, con el uso médico de las radiaciones. Al respecto, es importante recordar que el límite de dosis para miembros del público de acuerdo a nuestra legislación, es de 5 mSv/año.

### 1.3.- Las radiaciones ionizantes y nuestra histórica convivencia

Desde tiempos inmemorables el hombre ha estado sometido a una dosis de radiación ionizante de origen natural.

Esta Radiación se origina de 3 fuentes fundamentales: la primera de ella es la emanada de la Tierra misma y que forma parte de gran cantidad de materiales. Esta tiene su origen en 3 radioisótopos madres llamadas Uranio-238, Uranio-235 y Torio - 232, de modo que la mayoría de los radioisótopos que se detectan actualmente provienen de las madres señaladas.

En los últimos años se han detectado varios elementos radiactivos que no tienen su origen en las familias antes señaladas, algunos ejemplos son el Potasio-40, Rubidio-87 y Renio-187, los que tienen vidas medias de miles de millones de años y que emiten radiaciones Gamma y Beta.

Se ha estimado que un hombre recibe en el tiempo de un año una radiación de 600 mR, esto naturalmente depende de la latitud del lugar y la denominaremos  $R_t$ . La segunda fuente es la **Radiación Cósmica  $R_c$** .



En los primeros años de la segunda década del siglo XX, luego de una gran controversia entre los investigadores de la época se demostró que la Tierra estaba recibiendo cierto tipo de radiaciones desde el espacio exterior, las que fueron denominadas Rayos Cósmicos por Millikan, estos provenían de diferentes puntos del espacio (del sol y las estrellas).

Por este concepto los seres humanos recibimos una radiación aprox. de 400 mRem/año.

Como tercer componente de la radiación natural tenemos la radiación por **Carbono-14**. Esta última se produce por interacción de la radiación Cósmica con las moléculas de la atmósfera terrestre, generando un isótopo denominado Carbono-14. Este, junto al Carbono-12, ingresa a los organismos vivos y se convierte en una constante fija, la cual es posible de ser cuantificada en el organismo al morir un ser humano, pudiéndose determinarse hasta su edad. El Carbono-14 tiene una vida media de alrededor de 5600 años.

En conclusión la radiación natural proviene de tres fuentes y la suma de ellas constituye el llamado background o radiación de fondo.

### **Radiación natural = $R_t + R_c$ + Radiación Carbono-14**

La radiación recibida por el ser humano por Background en el periodo de un año, podemos aproximarla 1000 mR.

La radiación de fondo ha aumentado los últimos años debido a las explosiones nucleares que se han realizado desde el año 1940 en adelante, recordemos que el resultado de estas explosiones es el ingreso de numerosos productos de fisión a la atmósfera terrestre, que en forma de aerosoles permanecen en el aire, decantando después de días, meses y a veces años con la consiguiente contaminación de aire agua y tierra y siguiendo el curso de la cadena alimentaria terminan contaminando al ser humano, hoy en día las explosiones han disminuido en cantidad y se realizan bajo tierra.

## CAPÍTULO II. -

### TEORÍA DEL ÁTOMO

#### 2.1. BREVE HISTORIA.

Cinco siglos antes de Cristo, los filósofos griegos se preguntaban si la materia se podía dividir indefinidamente o si era indivisible. **Demócrito**, filósofo griego de la época, formula la teoría que indica que la materia se compone de partículas indivisibles a las que llamó átomos (del griego “**átomos**” que significa indivisible).

En 1803, el químico inglés **John Dalton** propone una nueva teoría sobre la constitución de la materia. Según Dalton la materia se puede dividir en dos grandes grupos: los elementos y los compuestos. Los elementos estarían constituidos por partículas fundamentales muy pequeñas a las que, en honor a Demócrito, denominó átomos. Los átomos de un mismo elemento serían idénticos. Los compuestos tendrían una estructura dada por la unión de átomos en proporciones definidas y constantes, de tal forma que el reordenamiento de los mismos sería la causa del cambio químico. Los postulados de Dalton seguían considerando a los átomos como partículas indivisibles.

Hacia finales del siglo XIX, se descubre que los átomos no son indivisibles, pues se componen de varios tipos de partículas elementales. La primera partícula en ser descubierta fue el electrón, en el año 1897 por el gran investigador **Sir Joseph Thompson** (Premio Nobel de Física en el año 1906). Posteriormente, **Hantaro Nagahoka**, basado en sus investigaciones desarrolladas en Tokio, postula que los electrones girarían describiendo órbitas alrededor de un cuerpo central con carga positiva, al igual que la trayectoria de los planetas alrededor del Sol.

Posteriormente, el núcleo del átomo es descubierto mediante el trabajo experimental dirigido por **Ernest Rutherford** durante su estadía en la Universidad de Manchester (1909-1911). El experimento utilizado consistía en dirigir un haz de partículas de cierta energía contra una lámina metálica delgada. De las probabilidades de que tal barrera desviaría la trayectoria de las partículas, se dedujo la distribución de la carga eléctrica al interior de los átomos.

#### 2.2.- MODELO ATÓMICO.

El físico danés **Niels Bohr** (Premio Nobel de Física el año 1922), postula que los electrones giran a grandes velocidades alrededor del núcleo atómico. Los electrones se disponen en diversas órbitas circulares, llamados niveles de energía. Sin perturbación el electrón no absorbe ni emite energía. Para acceder a un nivel de energía superior el electrón debe absorber energía y para volver a su nivel de energía original el electrón debe emitir emitirla. Este modelo, si bien se ha perfeccionado en el tiempo, ha servido de base a la moderna física nuclear.

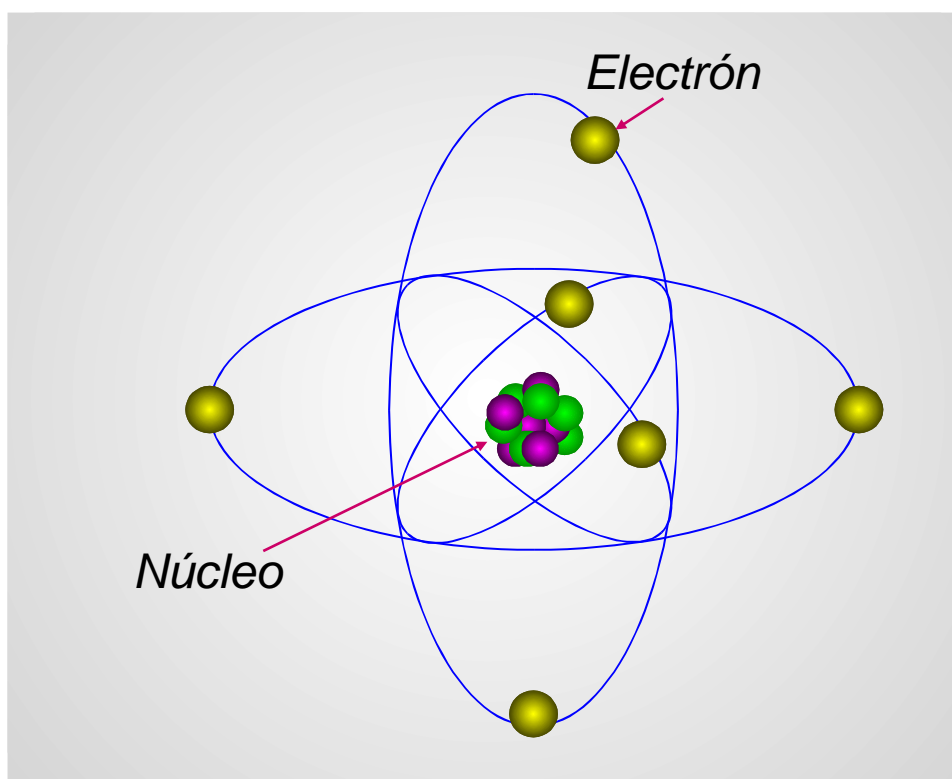
### 2.3.- ESTRUCTURA ATÓMICA.

La descripción básica de la estructura atómica indica que el átomo se compone de un núcleo y una envoltura o nube electrónica. El núcleo está compuesto de protones, con carga eléctrica positiva, y por neutrones que no poseen carga eléctrica, sólo masa. A estas partículas con frecuencia se les llama “**nucleones**”. La envoltura exterior se compone de electrones que poseen carga eléctrica negativa.

La masa de un Protón corresponde a aproximadamente 1840 veces la masa del Electrón ( $m_e = 1,67 \times 10^{-27}$  Kg.). Sin embargo, el Protón y el Neutrón poseen prácticamente igual masa.

El átomo en su conjunto y sin la presencia de perturbaciones externas, es eléctricamente neutro, es decir, existe igual cantidad de Protones y de Electrones, como se aprecia en la siguiente figura:

#### ESTRUCTURA DEL ÁTOMO



### 2.4.- NUMERO ATÓMICO Y NÚMERO MÁSSICO.

Un átomo se identifica por la cantidad de partículas presentes en su estructura. Siguiendo una nomenclatura internacional, se designa por una letra “**Z**” al número de protones que contiene el núcleo atómico, donde **Z** recibe el nombre de **Número Atómico**.

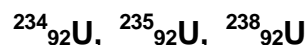
De igual forma, a la cantidad total de protones más neutrones presentes en el núcleo atómico, se le llama **Número Másico** y se designa por la letra “**A**”.

Se comprende que el número de electrones presentes en un átomo se deduce a partir de su Número Atómico.

Si se designa por “X” a un elemento químico cualquiera, su Número Atómico y Másico se representa mediante la siguiente simbología:



A modo de ejemplo, para el caso del Uranio se tiene:



## 2.5.- CLASIFICACIÓN DE LOS ÁTOMOS.

Conociendo el Número Atómico y Másico, los átomos de diversos elementos se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) **Isótopos:** Átomos que tienen igual **Número Atómico (Z)** y diferente **Número Másico (A)**. Ej: **Deuterio**  ${}^2_1\text{H}$ , **Tritio**  ${}^3_1\text{H}$ . En el ejemplo anterior, se han indicado los isótopos del Uranio.

b) **Isóbaros:** Son átomos que tienen igual Número Másico (A).



c) **Isótonos:** Son átomos que tienen igual número de neutrones, pero diferente Número Atómico (Z).



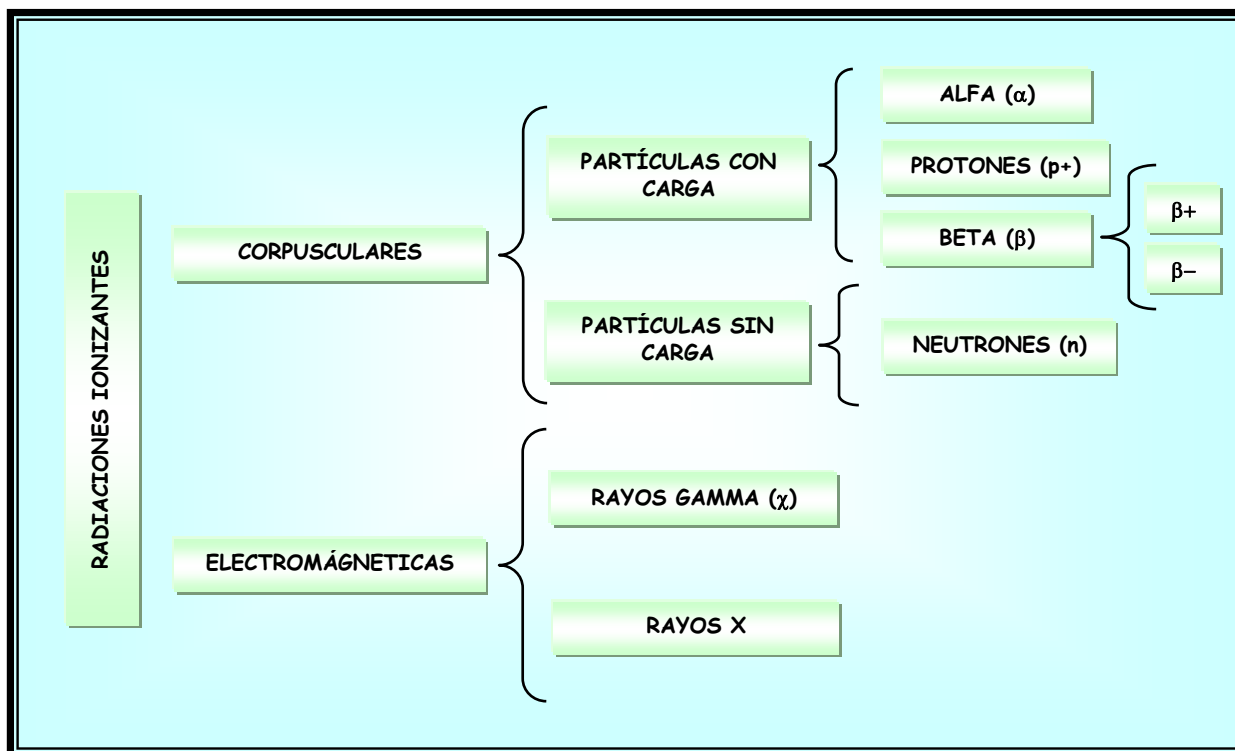
d) **Isodiáferos:** Son átomos que tienen igual diferencia entre el número de neutrones y de protones.



## 2.6.- RADIACIONES IONIZANTES.

Son radiaciones de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia ceden su energía generando la “**ionización**” del medio. El fenómeno de ionización consiste en arrancar electrones desde el medio con el cual las radiaciones ionizantes interactúan. La siguiente tabla, muestra una clasificación de las radiaciones ionizantes según su naturaleza.

## CLASIFICACIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SEGÚN SU NATURALEZA.



### 2.7.- ENERGÍA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

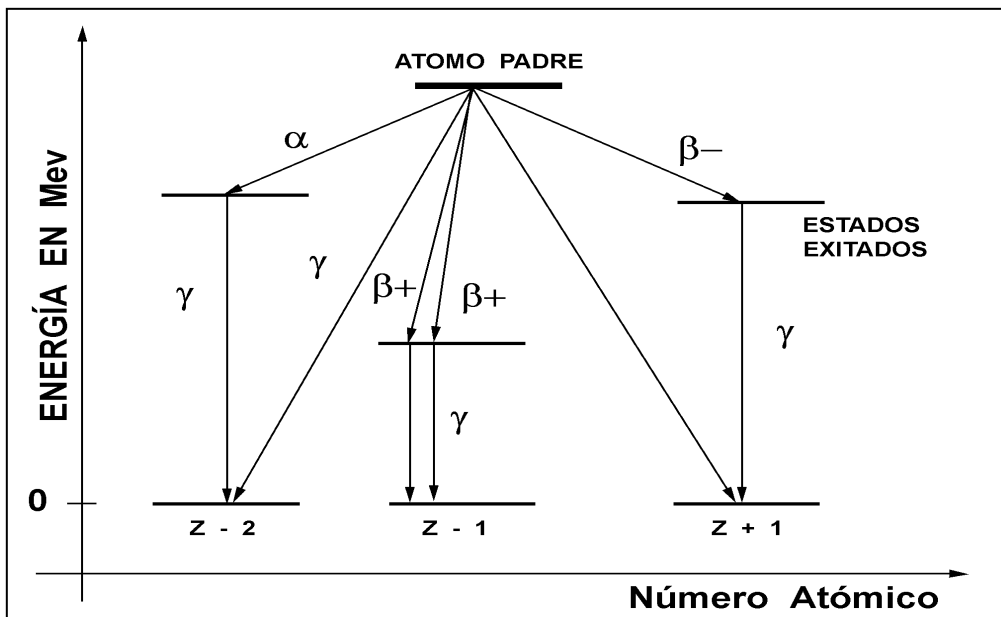
Las radiaciones ionizantes ceden su energía a la materia arrancando electrones de sus órbitas. Cuando la ionización se realiza en un medio gaseoso, este fenómeno genera **pares iónicos** y cuando se realiza en un medio sólido genera pares **electrón-hueco**, siendo éstos, los portadores de cargas eléctricas.

La energía que las radiaciones ionizantes ceden a un medio cualquiera, se expresa en **electrón-Volt (eV)**, y 1 eV es la energía que adquiere un electrón cuando es sometido a una diferencia de potencial de 1 Volt. Existen múltiplos de esta unidad, tales como: keV, MeV, entre otros.

### 2.8.- DESINTEGRACIONES ALFA, BETA Y GAMA

Las transformaciones que se producen en un nucleido al desintegrarse, se representan gráficamente mediante un esquema de desintegración.

En la siguiente figura se representa un esquema general de las posibilidades de desintegración de un nucleido, en el eje de las ordenadas se muestra el cambio de nivel de energía del núcleo y en el eje de las abscisas se representan los cambios experimentados por el núcleo en el valor Z.



### 2.8.1. - Desintegración Alfa ( $\alpha$ )

Al desintegrarse un átomo madre emitiendo una partícula alfa, el resultado es una hija cuya masa atómica es menor en 4 unidades y su número atómico menor en 2 unidades respecto del átomo madre.

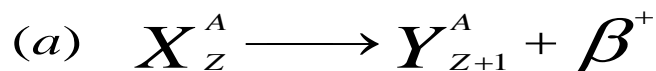
La representación general es:



### 2.8.2. - Desintegración Beta ( $\beta$ )

En este caso, el núcleo del átomo radiactivo emite partículas de igual masa y carga que un electrón orbital, existiendo la posibilidad que su signo sea positivo o negativo. En caso de ser positivo se denomina positrón y al ser negativo se le llama negatón.

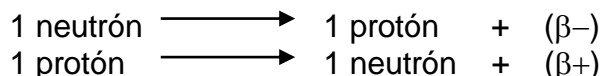
En forma general, podemos representar este fenómeno como sigue:



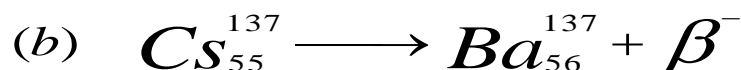
**Casos:**

- a).- Se conserva el número másico y el número atómico aumenta en una unidad y se emite un positrón ( $\beta^+$ ).
- b).- Se conserva el número másico, el número atómico disminuye en una unidad y se emite un negatón ( $\beta^-$ ).

Para explicar cada caso se acepta que en el núcleo se produjo el siguiente cambio.



Como ejemplo vemos el caso del Cs - 137

**2.8.3. - Emisión Gamma ( $\gamma$ )**

Es un proceso en el cual, el núcleo emite energía en forma de Radiación electromagnética, sin cambiar sus parámetros internos, se produce en todos los procesos radiactivos, es decir, en la desintegración de los átomos.

**2.9.- INTERACCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES CON LA MATERIA.**

Se especifican aquí, las características más importantes de estos tipos de radiaciones.

**2.9.1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS ALFA ( $\alpha$ ).**

- Es corpuscular, es decir, posee carga y masa.
- Poseen un alto poder de ionización.
- Se originan en los núcleos de los átomos.
- Es similar a un núcleo de Helio.
- Tienen carga eléctrica positiva.
- Muy poco poder de penetración y por lo tanto, muy poco alcance, inclusive en aire (no más de 5 cm dependiendo de su energía), se detienen con una hoja de papel.
- Son de masa considerable si se les compara con un fotón gamma.
- Son una característica de los radionucleidos pesados.
- Constituyen un riesgo considerable desde el punto de vista de una contaminación interna.
- No constituyen un riesgo de exposición externa.

### 2.9.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS BETA ( $\beta$ ).

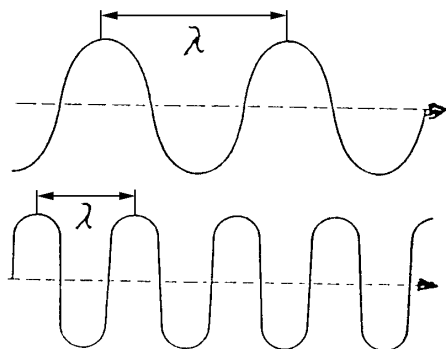
- Es corpuscular, es decir, posee carga y masa.
- Se originan en los núcleos de los átomos.
- Poseen carga y masa idéntica a un electrón.
- Poseen un poder de ionización levemente inferior a una partícula alfa.
- Poseen un alcance mayor que una partícula alfa. Recorren en aire algunas decenas de centímetros, dependiendo de su energía.
- No representan un riesgo de exposición externa.
- Constituyen un riesgo considerable desde el punto de vista de una contaminación interna.

### 2.9.3. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN GAMMA ( $\gamma$ ) Y X.

- Son de naturaleza electromagnética, es decir, no poseen carga ni masa, sólo longitud de onda. Se les denomina también, fotones.
- Se diferencian entre ambas sólo por su origen. Los fotones X se originan en los orbitales electrónicos del átomo, en cambio, el gamma en el núcleo de éste.
- Ionizan la materia a través de tres fenómenos: Efecto fotoeléctrico, Efecto Compton y Producción de pares.
- Poseen muy poco poder de ionización.
- Poseen mucho alcance y tienen un gran poder de penetración, inclusive en materiales de alta densidad.
- Representan un alto riesgo como fuente de exposición externa.

### 2.10.- LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Cuando se pone una carga en movimiento, esta produce un campo electromagnético (E) y un campo magnético (H), perpendicular a este último, al variar el campo eléctrico a lo largo de la línea de propagación también varía el campo magnético. Ahora la carga en movimiento en su viaje a la velocidad de la luz por el espacio irradia energía lo que se propaga como una onda electromagnética. La representación tradicional de dicha onda es la curva sinusoidal siguiente:



### 2.11.- Definiciones

- Longitud de Onda ( $\lambda$ ): Distancia característica de una onda, medida entre 2 máximos sucesivos o dos mínimos sucesivos.
- Período de la Onda (T): Tiempo que tarda la onda en recorrer la distancia correspondiente a su longitud de onda.



- Frecuencia (f): Inverso recíproco del Período (T)
- Velocidad de la Luz (c): velocidad a que se mueve la luz  $3 \times 10^{10}$  cm / seg.  
La longitud de una onda se expresa matemáticamente como:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

La energía de una onda está dada por:

$$E = h * f$$

En que **h**: constante de Plank, y es igual a  $6,625 \times 10^{-27}$  erg / seg.

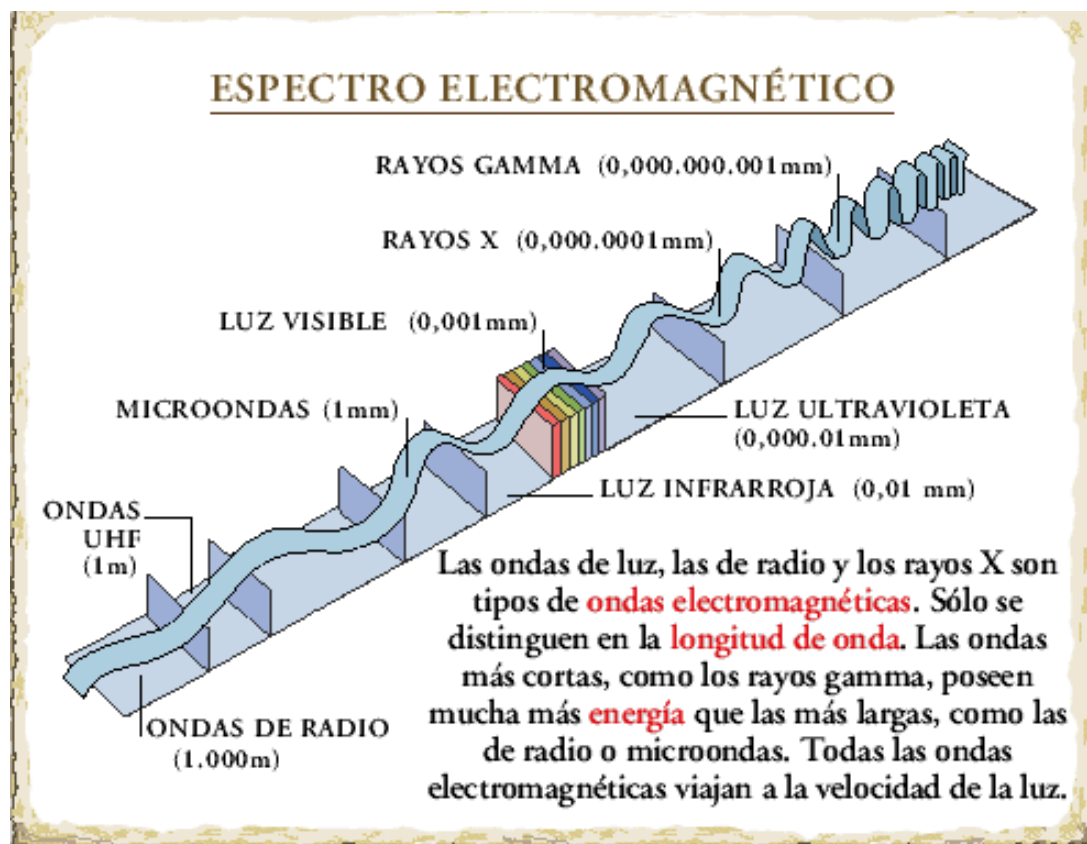
Hoy en día las radiaciones electromagnéticas son explicadas de dos formas:

- Cuando se trata de fenómenos de propagación se prefiere tratarlas como onda.
- Cuando interactúan con la materia se las considera y trata como partículas.

Por lo que se habla del comportamiento dual de las radiaciones electromagnéticas.

## 2.12.- Espectro electromagnético

Las radiaciones electromagnéticas se ordenan de acuerdo a la magnitud de su longitud de onda y de su frecuencia como sigue:



## 2.13.- Interacción de la radiación electromagnética con la materia

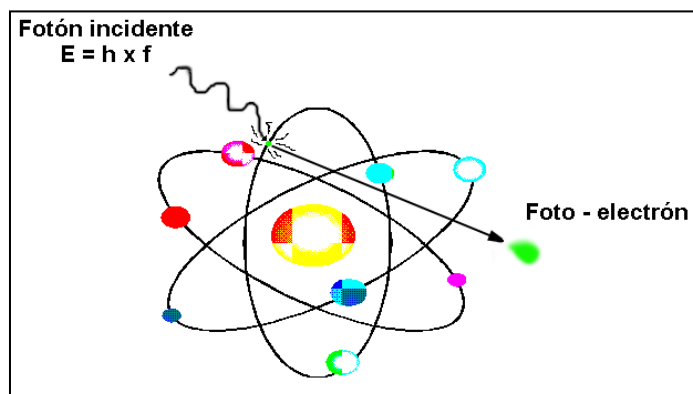
A diferencia de las partículas cargadas, que poseen alcance definidos, relacionados con su energía inicial, la radiación gamma o rayos X no presenta esta propiedad al atravesar la materia y se habla de un camino libre medio recorrido por el fotón antes de ser absorbido o dispersado por la materia. En el caso de los fotones que componen el haz, los choques efectivos son escasos y son absorbidos por los átomos arrancando electrones o dispersándose, cediendo energía a los electrones orbitales.

La interacción de los fotones (gamma o rayos X) con la materia se produce por medio de 3 caminos distintos:

- Efecto fotoeléctrico
- Efecto Compton
- Producción de pares

### 2.13.1.- Efecto fotoeléctrico

En el proceso fotoeléctrico toda la energía del fotón incidente es cedida a un electrón ligado de un átomo que resulta expulsado con una energía cinética igual a la energía del fotón incidente menos el potencial de ionización del electrón. El electrón puede salir del material absorbente. Este proceso constituye el mecanismo más importante de absorción para radiación gamma con energías entre 0,5 y 10 Mev.



Pero tiene mayor probabilidad de ser reabsorbido de inmediato, debido al corto alcance de un electrón al interior de un sólido.

La probabilidad de absorción fotoeléctrica es mayor cuanto más ligado esté el electrón, lo que da por resultado que el 80 % de los casos se produzcan en electrones de la capa K (capas mas interiores del átomo).

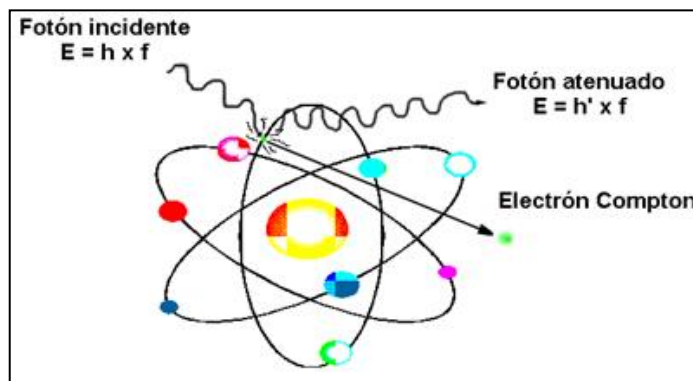
Finalmente el electrón expulsado dirige su energía en sucesivas excitaciones y ionizaciones secundarias.

Este mecanismo es dominante cuando la energía de los rayos gamma es baja, (inferior a 50 Kev, para el aluminio y 500 Kev para el plomo) y por otra parte, para fotones de una energía dada, este tipo de absorción es mucho mayor en materiales livianos como el aluminio.

Cuando se produce el impacto del fotón con el electrón definimos que electrón salía impulsado del átomo, ahora bien una vez que el electrón deja su sitio vacante este es llenado rápidamente por un electrón de un nivel de mayor energía, con la consiguiente emisión de radiación electromagnética, rayos o electrones Auger (proveniente de una capa superior).

### 2.13.2.- Efecto Compton

Este efecto se manifiesta cuando un fotón colisiona a un electrón de las capas más externas del átomo, de modo que el fenómeno es independiente del número atómico del material con el que se produce la interacción.

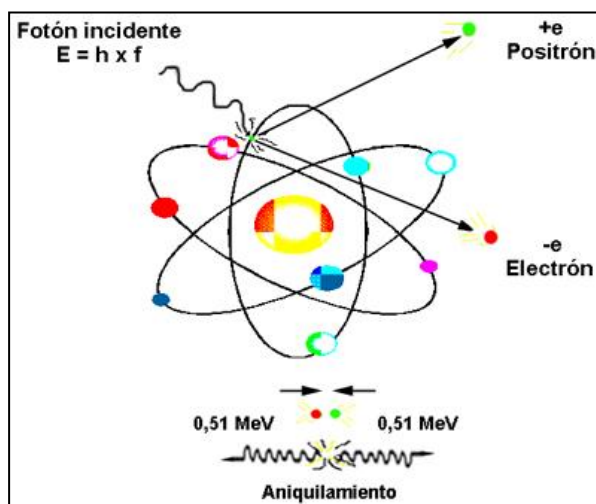


Al incidir el fotón sobre el electrón orbital externo el fotón cede parte de su energía al electrón, el cual sale impulsado (electrón compton), disipando su energía por sucesivos choques elásticos, en este proceso el fotón cederá el resto de su energía por efecto fotoeléctrico.

### 2.13.3.- Producción de pares

Este mecanismo de interacción, de la radiación electromagnética con la materia sólo se produce cuando el fotón incidente posee energía mínima de 1,02 Mev (doble de la energía que posee un electrón en reposo), creciendo su importancia al aumentar la energía de la radiación gamma. Al interactuar el fotón con el campo eléctrico del núcleo atómico el fotón se convierte en las partículas diferentes, un electrón negativo y su electrón positivo denominado positrón, cada una de ellas con una energía de 0,51 Mev.

El electrón negativo perderá su energía por sucesivas colisiones, en tanto, que el positrón se combinará con un electrón negativo aniquilándose generando a la vez 2 fotones gamma de 0,5 Mev c/u, los que disiparán su energía por interacción con la materia, mediante el proceso fotoeléctrico y Compton



## CAPÍTULO III. -

### MAGNITUDES Y UNIDADES

#### 3.1.- ACTIVIDAD (A).

Se define como “el número de transformaciones nucleares espontáneas  $dN$ , que tienen lugar en un intervalo de tiempo  $dt$ , de una muestra radiactiva”, es decir:

$$A = dN/dt \text{ (Bq o Ci)}$$

#### EQUIVALENCIAS.

a) **Curie (Ci) = Unidad tradicional.**

Se basa en la actividad de 1 gr. de Radio-226 ( $Ra^{226}$ ) y corresponde a  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo (des/seg.).

b) **Becquerel (Bq) = Unidad en el Sistema Internacional de Medidas.**

$$1 \text{ Bq} = 1s^{-1} \text{ ó } 1 \text{ des/seg.}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

$$1 \text{ Ci} = 10^3 \text{ mCi.}$$

$$1 \text{ MBq} = 10^6 \text{ Bq.}$$

#### 3.2.- EXPOSICIÓN Y DOSIS

Al pasar la radiación a través de la materia, ésta interactúa entregándole una parte o el total de la energía.

Mientras la exposición se mide fácilmente en aire con un detector adecuado, la Dosis es una magnitud más difícil de medir, aunque es más general y mejor relacionada con los efectos biológicos producidos por las radiaciones ionizantes.

Para efectos prácticos resulta de mayor interés relacionar la Exposición con la Dosis en aire y por extensión, en cualquier otro medio.

##### 3.2.1.- EXPOSICIÓN.

La Exposición se define como “el valor absoluto de la carga total  $dQ$ , cuando todo los electrones liberados por los fotones en  $dm$ , son frenados en el aire, dividido por dicha masa  $dm$ ”. Se representa por la siguiente relación matemática:

$$X = dQ/dm \text{ (R o C/kg)}$$

Donde:

$dQ$  = Valor absoluto de la carga de todos los iones producidos.

$dm$  = Masa del volumen de interés.

**UNIDADES UTILIZADAS PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN:**

- a) ROENTGEN (R) : Unidad tradicional.  
 b) Coulomb/kilogramo (C/kg) : S.I de medidas.

**3.2.1.1.- ROENTGEN (R).**

Esta unidad está definida como “la cantidad de radiación X o Gamma que produce la liberación de 1 unidad electrostática de carga (ues) de uno u otro signo, en 1 cm<sup>3</sup> de aire, en condiciones normales de presión y temperatura”.

Algunas equivalencias del ROENTGEN:

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg.}$$

$$1 \text{ R} = 87,7 \text{ erg/gr de aire.}$$

**3.2.1.2. TASA DE EXPOSICIÓN.**

La Tasa de Exposición se define como la Exposición en función del tiempo, es decir:

$$\dot{X} = dx/dt \text{ (R/h)}$$

**3.2.1.3.- CONSTANTE ESPECÍFICA GAMMA ( $\Gamma$ ),**

Es propia para cada elemento radiactivo, y se define como “la Tasa de Exposición producida por una fuente radiactiva de 1 Ci de actividad, a 1 metro de distancia”.

Sus unidades son:

$$(\text{R/h}) * \text{m}^2 / \text{Ci}$$

Y relaciona la actividad de una fuente radiactiva con la Tasa de Exposición, a una distancia determinada, es decir:

$$\dot{X} = \frac{A * \Gamma}{d^2} = (\text{R/h})$$

Donde:

**d = Distancia (m).**

En la tabla del punto 3.1.3.-, se entrega un listado de los radionucleídos emisores gamma con sus correspondientes constantes.

### 3.2.2.- DOSIS ABSORBIDA (D).

La Dosis Absorbida (D), se define como “el cuociente entre la energía dE depositada por la radiación ionizante en un elemento de volumen de masa dm del material absorbente”, es decir:

$$D = dE / dm, (\text{rad}) \text{ ó Gray (Gy)}$$

#### UNIDADES PARA EVALUAR LA DOSIS ABSORBIDA:

- a) J/kg : S.I de medidas.
- b) rad : Unidad tradicional.
- c) Gray : S.I de medidas.

#### EQUIVALENCIAS:

- 1 rad = 100 erg/gr.
- 1 Gray = 1 J/kg.
- 1 Gray = 100 rad.

#### 3.2.2.1.- RELACIÓN ENTRE DOSIS ABSORBIDA Y EXPOSICIÓN.

$$D = 0,869 * X = \text{rad, si X está en R.} \\ = \text{Gray, si X está en Sievert (Sv)}$$

También se define la Tasa de Dosis Absorbida (**D**), como:

$$\dot{D} = dD / dt : \text{Gy/seg ó rad/h}$$

### 3.2.3.- DOSIS EQUIVALENTE (H<sub>t</sub>).

La Dosis Absorbida (**D**), no nos entrega información acerca del daño que la radiación genera sobre un tejido vivo. Para tener en cuenta la microdistribución de la energía depositada, se define la magnitud de **Dosis Equivalente (H<sub>t</sub>)**, la que se calcula multiplicando la **Dosis Absorbida (D<sub>t</sub>)** causada por una determinada radiación, por un Factor de Ponderación de la Radiación (**W<sub>r</sub>**), que expresa la eficacia de ese tipo de radiación para causar daño biológico en un órgano o tejido (**t**).

Los valores de  $W_r$  dependen del modo en que la energía depositada por la radiación ionizante se distribuye en los blancos de la célula, de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

### FACTOR DE PONDERACIÓN DE LA RADIACIÓN ( $W_r$ ).

TIPO E INTERVALO DE ENERGIA	FACTOR DE PONDERACION ( $W_r$ ).
Fotones de todas las energías	1
Electrones de todas las energías	1
Neutrones con energías:	
< 10keV	5
10 keV a 100 keV	10
> 100 keV a 2 MeV	20
> 2 MeV a 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protones > 2 MeV	5
Partículas Alfa, fragmentos de fisión y núcleos pesados	20

Luego, para un solo tipo de radiación se tiene:

$$H_t = D_t * W_r = \text{Sievert (Sv)} \text{ ó } (\text{J/kg})$$

### UNIDADES PARA EVALUAR LA DOSIS EQUIVALENTE:

Rem	:	Unidad tradicional.
J/kg	:	S.I de medidas.
Sievert (Sv)	:	Unidad especial.

### EQUIVALENCIAS:

1 Sv	=	1 J/kg.
1 Sv	=	100 rem.

Se define también la Tasa de Dosis Equivalente (**H**), teniendo como unidades **Sv/h** ó **rem/h**.

### 3.2.4.- DOSIS EFECTIVA (E).

Cuando una irradiación no es uniforme, sino que afecta parcialmente a diversos órganos o tejidos, se tiene en cuenta el daño al individuo expuesto utilizando el concepto de **Dosis Efectiva (E)**. Los distintos tejidos y órganos poseen diferentes radiosensibilidad para la inducción de efectos por radiación ionizante, es decir, a igualdad de dosis y microdistribución de energía, la probabilidad de inducción de un fenómeno perjudicial, es distinto según el tipo de tejido u órgano que se considere. Por esta razón, la Dosis Efectiva se define “**como la sumatoria de las dosis recibidas por ciertos órganos o tejidos ( $H_t$ ), multiplicadas por sus correspondientes Factores de Ponderación ( $W_t$ )**”.

$W_t$ , es un Factor de Ponderación que representa la proporción entre el riesgo estocástico resultante de la radiación del tejido u órgano  $t$  y el riesgo total, cuando todo el organismo ha sido irradiado de manera uniforme, ver tabla N° 5.

Luego:

$$E = H_t * W_t : Sv \text{ ó rem}$$

#### FACTORES DE PONDERACIÓN DE TEJIDOS U ÓRGANOS ( $W_t$ ).

TEJIDO U ÓRGANO.	FACTOR DE PONDERACIÓN DEL TEJIDO U ÓRGANO ( $W_t$ ).
GÓNADAS	0,20
MÉDULA ÓSEA	0,12
COLON	0,12
PULMÓN	0,12
ESTÓMAGO	0,12
VEJIGA	0,05
MAMAS	0,05
HÍGADO	0,05
ESÓFAGO	0,05
TIRÓIDE	0,05
PIEL	0,01
SUPERFICIE ÓSEA	0,01
RESTO DEL CUERPO	0,05



### 3.3.- RADIONUCLEÍDO, CONSTANTE ESPECÍFICA GAMMA ( $\Gamma$ ) Y PERÍODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

RADIONUCLEÍDO.	CONSTANTE GAMMA ( $\Gamma$ ).		SEMIPERÍODO.T/2.
	R * m <sup>2</sup> / h * Ci.	mSv * m <sup>2</sup> /h * GBq.	
ACTINIO Ac-227	0,22	0,059	21,80 a.
ANTIMONIO Sb-122	0,24	0,064	2,70 d.
ANTIMONIO Sb-124	0,98	0,264	20,0 min.
ANTIMONIO Sb-125	0,20	0,072	2,77 a.
ARSENICO As-72	1,01	0,272	26,0 h.
ARSENICO As-74	0,44	0,118	17,77 d.
ARSENICO As-76	0,24	0,064	26,4 h.
BARIO Ba-131	0,30	0,081	11,5 d.
BARIO Ba-133	0,24	0,064	10,50 d.
BARIO Ba-140	1,24	0,335	12,79 d.
BERILIO Be-7	0,03	0,0081	53,4 d.
BROMO Br-82	1,46	0,394	35,34 h.
CADMIO Cd <sup>m</sup> 115	0,02	0,0054	44,8 d.
CALCIO Ca-47	0,57	0,154	4,54 d.
CARBON C-11	0,59	0,159	20,3 min.
CERIO Ce-141	0,035	0,0094	32,51 d.
CERIO Ce-144	0,04	0,0108	248,8 d.
CESIO Cs-134	0,87	0,235	2,06 a.
CESIO Cs-137	0,33	0,089	30,1 a.
CLORO Cl-38	0,88	0,237	37,18 min.
CROMO Cr-51	0,016	0,0043	27,7 d.
COBALTO Co-56	1,76	0,475	77,3 d.
COBALTO Co-57	0,09	0,024	270,0 d.
COBALTO Co-58	0,55	0,148	70,78 d.
COBALTO Co-60	1,32	0,356	5,27 a.
COBRE Cu-64	0,12	0,032	12,7 h.
ESCANDIO Sc-46	1,09	0,292	84,0 d.
ESCANDIO Sc-47	0,056	0,0151	3,42 d.
ESTAÑO Sn-113	0,17	0,045	115,1 d.
ESTRONCIO Sr-85	0,30	0,081	64,9 d.
EUROPIO Eu-152	0,58	0,156	12,4 a.
EUROPIO Eu-154	0,62	0,167	8,5 a
EUROPIO Eu-155	0,03	0,0081	4,96 a
GALIO Ga-67	0,11	0,029	78,3 a.
GALIO Ga-72	0,116	0,031	14,1 h
HAFNIO Hf-175	0,21	0,0567	70,0 d.
HAFNIO Hf-181	0,31	0,0837	42,4 d.

HIERRO	Fe-59	0,64	0,172	44,6 d.
INDIO	In- <sup>m</sup> 114	0,02	0,0054	49,5 d.
IODO	I-124	0,72	0,1945	4,15 d.
IODO	I-125	0,07	0,0189	60,14 d.
IODO	I-126	0,25	0,0675	13 d.
IODO	I-130	1,22	0,3297	12,36 h.
IODO	I-131	0,22	0,0594	8,04 d.
IODO	I-132	1,18	0,3189	20,8 h.
IRIDIO	Ir-192	0,48	0,1297	74,2 d.
IRIDIO	Ir-194	0,045	0,0125	19,2 h
KRIPTON	Kr-85	1,004	0,001	10,7 a.
LANTANO	La-140	1,13	0,3054	40,2 h.
MAGNESIO	Mg-28	0,57	0,4243	21,1 h.
MANGANESO	Mn-52	0,86	0,2324	5,7 h.
MANGANESO	Mn-54	0,47	0,1270	312,3 d.
MANGANESO	Mn-56	0,83	0,2243	2,6 h.
MERCURIO	Hg-197	0,04	0,0108	64,1 h.
MOLIBDENO	Mo-99	0,18	0,0486	66 h.
NIQUEL	Ni-65	0,31	0,0837	2,5 h.
NIOBIO	Nb-95	0,42	0,1135	35,1 d.
ORO	Au-198	0,23	0,0621	2,7 d.
ORO	Au-199	0,009	0,0024	3,1 d.
OSMIO	Os-191	0,06	0,0162	15,4 d.
POTASIO	K-42	0,14	0,0378	12,4 h.
RADIO	Ra-226	0,825	0,2229	1600 a.
RADIO	Ra-228	0,51	0,1378	5,8 a.
RUBIDIO	Rb-86	0,05	0,0135	18,7 d.
RUTENIO	Ru-106	0,17	0,0459	368 d.
SODIO	Na-22	1,20	0,3243	2,6 a.
SODIO	Na-24	1,84	0,4972	15,3 h.
TANTALIO	Ta-182	0,68	0,1837	115 d.
TECNECIO	Tc- <sup>m</sup> 99	0,08	0,0220	6 h.
URANIO	U-234	0,074	2,7027	240.000 a.
URANIO	U-235	0,01	0,0200	700.000.000 a.
VANADIO	V-48	1,56	0,4216	15,9 d.
XENON	Xe-133	0,01	2,7027	2,3 d.
ZINC	Zn-65	0,27	0,0729	244 d.
ZIRCONIO	Zr-95	0,41	0,1108	64 d.

**OBSERVACIONES:**

d = Días  
a = Años

h = Horas  
min = Minutos

### 3.4.- LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIATIVA.

En 1903 **Rutherford y Soddy** dieron su hipótesis sobre el fenómeno de la radiactividad, afirmando que ésta es una transformación atómica mediante la cual un elemento radiactivo se convierte en otro diferente del mismo sistema, con emisión de radiaciones ionizantes (**Alfa, Beta, Gamma, Protones, Neutrones, etc.**).

La Ley de Desintegración Radiativa expresa que, **“el número de núcleos que se desintegran en un tiempo dt, es decir, la velocidad con que se desintegra un cuerpo radiactivo, es proporcional al número de átomos presentes”**. Este enunciado se puede expresar de la siguiente forma:

$$dN/dt = - \lambda * N \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde el signo (-) indica, que el número de átomos radiactivos disminuye con el tiempo.  $\lambda$  recibe el nombre de **“constante de desintegración”**, y se define como **“la fracción de átomos que se desintegran por segundo por cada átomo radiactivo presente en una muestra”**.

Desarrollando matemáticamente la ecuación 1, se obtiene:

$$N = N_0 * e^{-\lambda * t} \quad (\text{Ecuación 2})$$

El número de átomos **N** de un cuerpo radiactivo, disminuye exponencialmente con el tiempo. **N<sub>0</sub>**, es el número de átomos presentes en el tiempo **t = 0**.

#### 3.4.1.- PERÍODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN (T).

El período de semidesintegración de una sustancia radiactiva, **“es el tiempo necesario para que el número de átomos radiactivos de una muestra se reduzca a su mitad”**. Por lo tanto:

Si **N = N<sub>0</sub>/2** y **t = T**, al sustituir estos valores en la ecuación 2, se obtiene:

$$1/2 = e^{-\lambda * t} \text{ o bien, } T = 0,693/\lambda \quad (\text{Ecuación 3})$$

#### 3.4.2.- VIDA MEDIA (T).

Se llama Vida Media de un cuerpo radiactivo, **“a la media de la vida de todos los átomos radiactivos presentes en una muestra”**. Se obtiene sumando la vida de todo los átomos y dividiendo por el número de ellos existentes en un momento inicial. Se obtiene mediante la siguiente relación:

$$T = 1/\lambda \quad (\text{Ecuación 4})$$

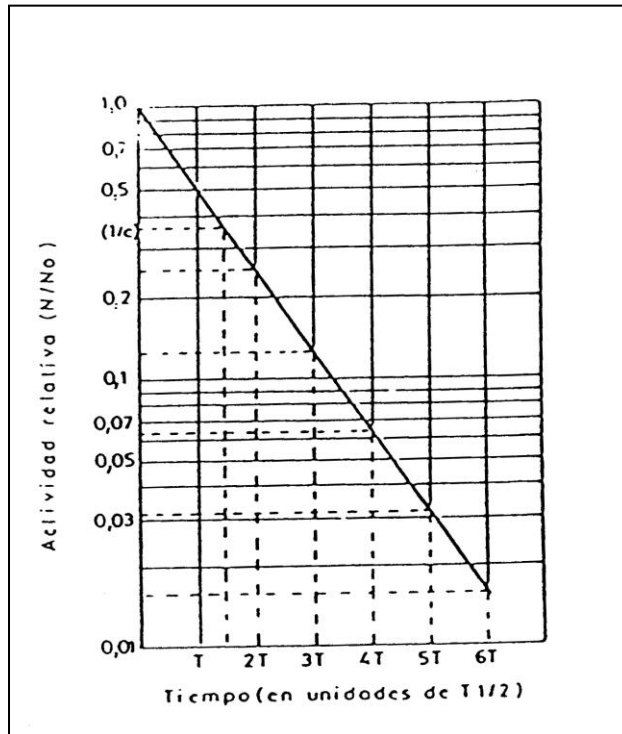
Reemplazando N (Número de átomos) por A (Actividad), se obtiene finalmente:

$$A = A_0 * e^{- (0.693 * t)/T}$$

,y aplicando logaritmo natural

$$\ln(A) = \ln(A_0) - \lambda t$$

, lo que corresponde a una ecuación de una recta con pendiente negativa, que se muestra a continuación:



Decaimiento radiactivo. Representación en papel logarítmico

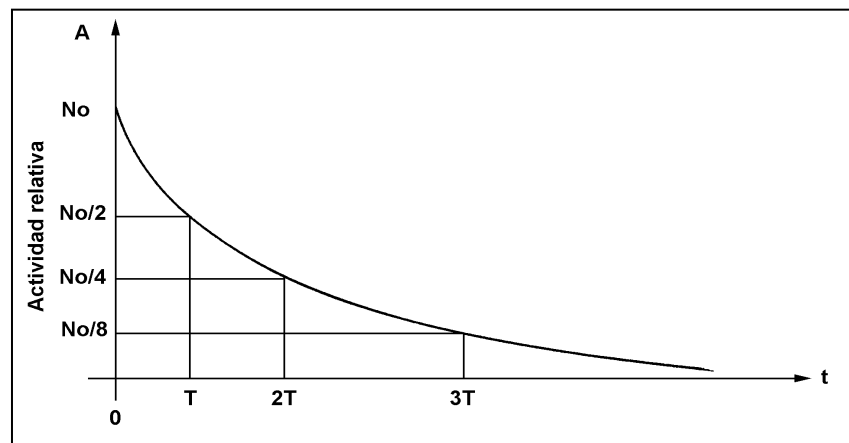


Gráfico lineal que representa el decaimiento radiactivo

# CUESTIONARIO

## Tema: Elementos de Física Nuclear

1. Como están constituidos los átomos. Que son los isótopos?
2. Indique los tipos de radiaciones y sus características.
3. De acuerdo al espectro electromagnético, indique cuales radiaciones son ionizantes y no ionizantes. Porqué?
4. Que se entiende por desintegración radiactiva y vida media.
5. Explique como interacciona la radiación con la materia

# CUESTIONARIO

## Tema: Magnitudes y Unidades

Defina los siguientes Conceptos, nombre sus unidades y sus equivalencias:

1. Actividad

2. Tasa de Exposición

3. Dosis Absorbida

4. Dosis Equivalente

5. Dosis Efectiva

## **CAPÍTULO IV.-**

### **ELEMENTOS DE RAYOS X**

#### **4.1. - INTRODUCCIÓN Y NATURALEZA**

Los Rayos X fueron descubiertos, casualmente, en 1895, por el Dr. Wilhelm Conrad Roentgen, en el transcurso de experiencias que llevaba a cabo con rayos catódicos. Observó fluorescencia en una pantalla de Platinocianuro de Bario ubicada cerca del equipo experimental, al cubrir el tubo de rayos catódicos con una caja de cartulina negra. Después de una mayor investigación de este fenómeno. Roentgen concluyó que aquel efecto era debido a la generación de nuevos rayos invisibles, capaces de penetrar los materiales opacos y producir fluorescencia visible en ciertos compuestos químicos. Roentgen llamó "Rayos X" a estos nuevos rayos invisibles. En razón de su descubrimiento, los rayos X se denominan también "Rayos Roentgen".

Siguieron al descubrimiento, investigaciones sistemáticas, estableciéndose que constituyen una radiación electromagnética. Deriva de lo anterior que los rayos X, al igual que toda radiación de naturaleza electromagnética, presenta un comportamiento dual, es decir, ondulatorio y cuántico. Rápidamente los rayos X se empiezan a usar como una herramienta en el área médica, sin embargo su uso sin las medidas de radioprotección generaron daños en las personas que los aplicaban.

Como se dijo anteriormente los rayos x son radiaciones electromagnética y son comparable con las radiaciones de origen nuclear (radiación gamma)

#### **SIMILITUDES:**

- Ambos pueden atravesar la materia sólida
- Su interacción con la materia es la misma:
  - Efecto Fotoeléctrico
  - Efecto Compton
  - Producción de pares
- Los efectos biológicos son los mismos
- Los efectos fotográficos son iguales
- Ambas son radiaciones electromagnéticas y ocupan la misma porción en el espectro electromagnética

#### **DIFERENCIAS:**

- Su origen es en los orbitales electrónicos de los átomos, en cambio la radiación gamma es de origen nuclear.
- Los rayos X poseen un espectro continuo de energía, los rayos gamma son monoenergético.

#### **Mecanismo de producción de rayos X**

Existen dos forma de producir rayos X una es por frenamiento de electrones y la otra por emisión de energía característica proveniente de los orbitales de un átomo.

### Radiación de frenamiento (Bremstrahlung):

Se produce cuando un electrón con gran velocidad al pasar cerca de un núcleo del material es desviado de su trayectoria perdiendo parte de su energía la que se transforma en rayos x.

### Radiación característica.

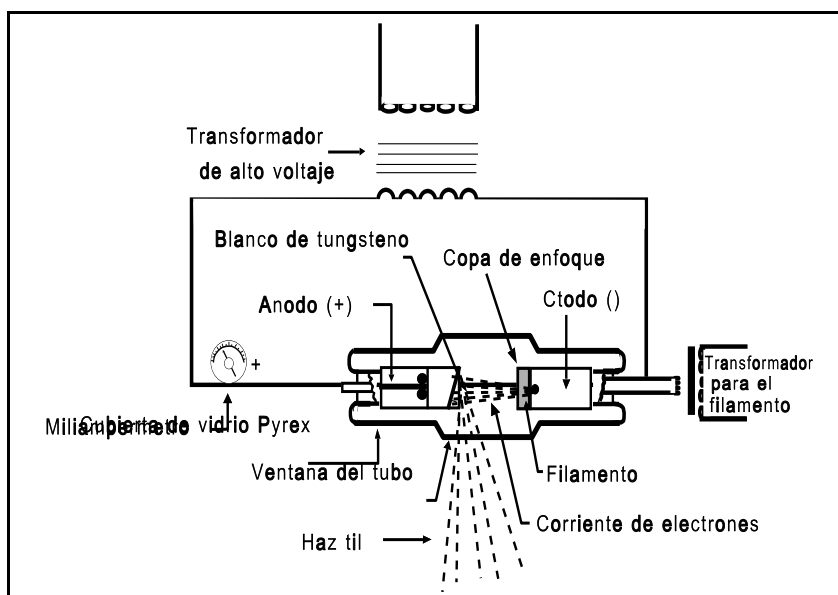
Este fenómeno se produce en las orbitas mas cercanas al núcleo de un átomo. Cuando un electrón es arrancado de las capas K o L por otro electrón incidente, la vacante que deja el primero es ocupada por un electrón de la orbita siguiente el cual emite radiación electromagnética.



## 4.2. - ORIGEN Y ESPECTRO

Los Rayos X se producen toda vez que una corriente de electrones muy veloces chocan con una sustancia. Esto se debe a la detención brusca o deflexión por los átomos que se encuentran dentro del material empleado como blanco.

Para comprender mejor estos aspectos: origen y espectro, así como también sus propiedades y aplicaciones, se hará una descripción somera de un tubo de Rayos X y su principio de funcionamiento, (figura N°1).



**Figura N° 1**  
**Circuito Típico de un Tubo**  
**de Rayos X Autorrectificado**



Un tubo de Rayos X está compuesto por dos electrodos, un cátodo y un ánodo, encerrados en una ampolla de vidrio, en la que se ha hecho un vacío. El cátodo (negativo) está compuesto por un filamento metálico, que al ser calentado, hasta incandescencia mediante una corriente eléctrica, permite que los electrones se desprendan con facilidad. El ánodo (positivo), también llamado blanco, se ubica enfrentando el cátodo y se construye de algún metal de alto número atómico, generalmente Tungsteno. Este material es usado por su alto número atómico, punto de fusión y conductividad térmica.

Entre ambos electrodos se aplica una diferencia de potencial de 30 a 150 Kilovolts (Kv) en el caso de radiodiagnóstico, estableciéndose por tanto una corriente electrónica entre ellos de algunos miliamperes (mA). Los electrones, violentamente acelerados por dicha tensión, viajan a gran velocidad e impactan al ánodo desviándose o reduciendo su velocidad, a la vez que emiten el remanente de energía como radiación de frenado (Bremstrahlung) que conocemos como Rayos X.

Debido a que el proceso anterior es de carácter estadístico, resulta un espectro continuo cuya energía máxima ( $E_{m\acute{a}x.}$ ) coincide con la energía máxima de los electrones (figura N° 2a). Superpuesto a éste, (se frena totalmente el electrón, siempre que se supere la energía de ligazón) aparece un espectro característico X del blanco, consistente en valores discretos que corresponden a electrones, generalmente de las capas K o L, removido de sus órbitas por los electrones incidentes. Al ser ocupadas dichas vacantes, el exceso de energía se emite en forma de fotones X. La intensidad de los Rayos X característicos es insignificante comparada con la producida por frenamiento.

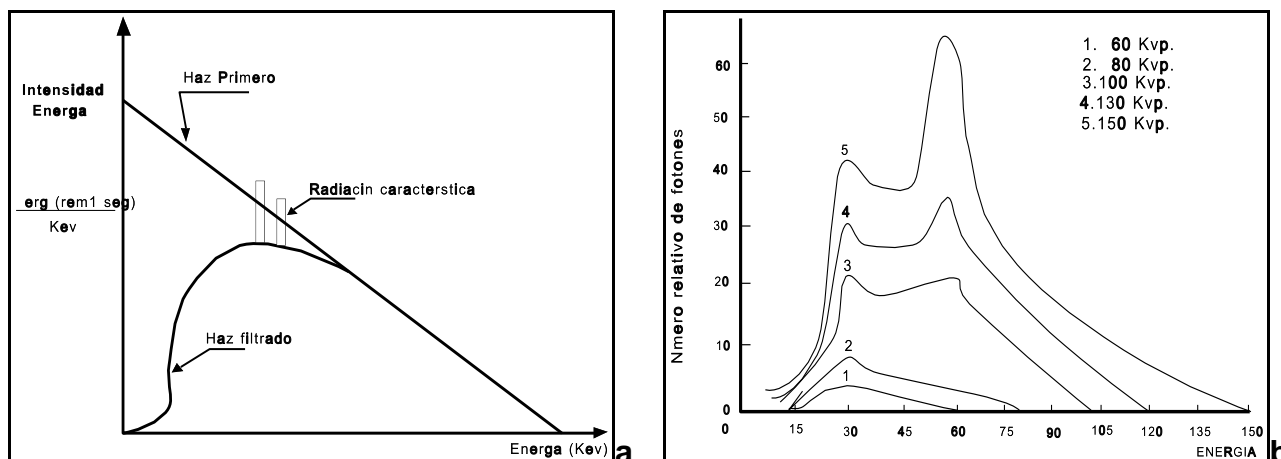


Figura N° 2: Espectro Típico de Rayos X

En la figura N° 2b aparece el espectro formado por el haz primario, es decir, sin filtrar y el filtrado. En la práctica, el haz emergente es absorbido parcialmente por la propia pared del tubo, notándose que dicha absorción es mayor cuanto menor es la energía de los fotones (haz filtrado).

Por otra parte, cabe hacer notar que sólo alrededor del 1% de la potencia eléctrica suministrada al tubo es convertida en Rayos X. El 99% restante se transforma en calor, el que es necesario disipar en alguna forma. Por tal motivo, el material del ánodo debe tener alto punto de fusión y alta conductividad térmica.

Las variables que se comandan en los tubos de rayos son: kilovoltaje, miliamperaje y tiempo. En los equipos de diagnóstico éste varía entre los 30 Kv hasta 150 Kv, mientras que los de radioterapia llegan a 500 Kv.

A mayor kilovoltaje será mayor la energía de los fotones de Rayos X y por lo tanto mayor la penetración en la material aumentando la corriente del tubo (miliamperaje) se consigue un aumento proporcional en el número de fotones que genera. Para la aplicación de de Kv y ma se requiere de un tiempo, hay un tiempo máximo en que puede emitir rayos el tubo; este tiempo máximo es función del tipo de tubo de Rayos X. Cuanto más potente sea el equipo, mayor será el tiempo máximo.

Si este tiempo requerido (para un kilovoltaje y miliamperaje) es mayor que el tiempo máximo que puede dar el tubo, significa que ese equipo no tiene la potencia necesaria para obtener ese tipo de radiografía. Por lo tanto es muy importante conocer cuál es la potencia del equipo de Rayos X y cuál es la característica del tubo que se está usando para delimitar el tipo de radiografías que se pueden obtener, sin dañar el tubo y sin exponer innecesariamente al paciente.

### 4.3. - PROPIEDADES

#### Filtros

Los equipos de uso médico, así como algunos industriales, poseen un filtro en la ventana del tubo, generalmente de Aluminio o Cobre. Son en realidad absorbentes, pero es obvio que atenúan en mayor proporción la zona de bajas energías del espectro, eliminando radiación innecesaria en la práctica, figura N° 3.

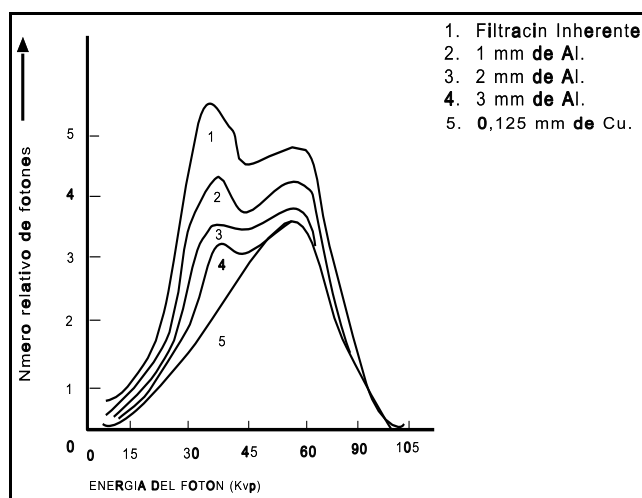


Figura N° 3

### 4.4. - APLICACIONES MÉDICAS

#### Diagnosic

#### RADIOGRAFÍA

La obtención de información se logra por "proyección" del órgano de interés sobre una placa radiográfica. Constituye por tanto un método estático, similar a un film fotográfico. Su principio de funcionamiento se basa en la variación del haz primario de Rayos X - absorción Diferencial - al interactuar con los distintos tejidos (espesores y densidades diferentes) que conforman el organismo. Parámetros típicos son los siguientes:

- tensión : 80 a 150 Kv;
- corriente : 20 a 500 mA;
- tiempo de exposición: 0,1 a 2 seg

## **FLUOROSCOPIA, RADIOSCOPIA**

Estos sistemas, basados en el mismo principio, permiten en cambio estudios dinámicos del funcionamiento de un determinado órgano. En el primer caso, la imagen se proyecta sobre una pantalla fluorescente de ZnS. Sus parámetros típicos son: tensión: 60 a 90 Kv; corriente: 5 a 10 mA, tiempo: 0.5 a 1 minutos.

La radioscopia, en cambio, parte de la base de una imagen primaria muy débil, la que es amplificada electrónicamente (intensificadores), visualizándose en un monitor de televisión. Permite por tanto reducir la corriente a 1 ó 2 mA a igualdad de tensión: 60 a 90 Kv, con lo que se logra disminuir la dosis al paciente o aumentar el tiempo de observación hasta unos 5 minutos.

## **DENTAL**

Caso especial lo constituye la radiografía dental. Normalmente estos equipos son construidos para tensión y corrientes fijos, valores típicos de 50 a 70 Kv y 10 mA respectivamente, permitiendo variar sólo el tiempo de exposición de 0,1 a 2 segundos.

## **TERAPIA (ROENTGENTERAPIA)**

El objetivo perseguido es la destrucción, mediante altas dosis de radiación, de tejidos tumorales malignos. Es evidente que se hace necesaria la perfecta localización del tejido a irradiar, así como el control de la dosis aplicada, para evitar dañar los tejidos adyacentes sanos.

Según su aplicación específica, se distinguen tres tipos de equipos de terapia: superficial (20 a 80 Kv), intermedia (250 Kv) y profunda (500 Kv).

## **4.5. - RADIACIÓN SECUNDARIA**

Cuando un haz de Rayos X choca contra un material, parte de la energía del haz se absorbe y parte se dispersa o reemite. Es decir que los Rayos X primarios al incidir por ejemplo sobre el paciente, lo convierten en un emisor de Rayos X en todas direcciones. Lo mismo ocurre cuando los rayos chocan contra cualquier otro obstáculo.

A la radiación que emerge de los cuerpos en que choca la radiación primaria se le llama radiación secundaria. Y está compuesta por la radiación dispersa y la reemitida. La radiación dispersa está formada por los fotones de Rayos X que han sufrido cambios de dirección después de haber chocado con los átomos del cuerpo absorbente (efecto Compton).

Son dispersados en todas direcciones, aún a 180°, por el material absorbente. La intensidad y calidad de la radiación dispersa, depende del material dispersante, ángulo de dispersión, energía e intensidad del haz incidente o volumen irradiado. La radiación reemitida se genera por el mismo mecanismo descrito para la radiación característica de los Rayos X, por lo tanto dependen del material de absorción.

También son emitidos en todas direcciones.

#### 4.6. - REQUISITOS BÁSICOS DE RADIOPROTECCIÓN EN RX DIAGNÓSTICO

La mayor parte de la dosis producidas por radiación artificial tienen su origen en las aplicaciones médicas. Como es claro que tales exámenes y tratamientos conducen a restituir la salud, la decisión para efectuarlos debe considerar medidas de compromiso entre el beneficio esperado y las consecuentes dosis inducidas sobre el paciente y el operador.

Por norma general, la dosis al paciente no es materia de control dosimétrico; por tanto las medidas de protección radiológica que se enumeran a continuación están destinadas a proteger al público en general y al operador en especial. Sin embargo, debe tenerse muy en cuenta que, reduciendo la dosis al paciente, se obtiene indirectamente una reducción de la dosis al operador y terceros, al disminuir en forma notable la radiación dispersada por el primero. Para tales efectos se debe:

- a.- Blindar adecuadamente la sala de Rayos X.
- b.- Contar con caseta o biombo blindado para la consola de control.
- c.- Los equipos de radiografía dental intra-oral deben ser instalados en ambientes (consultorio o sala) con dimensiones suficientes para mantener una distancia de por lo menos 2 m entre el operador y el conjunto paciente-cabezal.
- d.- Señalizaciones:
  - **Cartel visible** en la cara exterior de la puerta de acceso: Símbolo internacional, Sala de Rayos X, entrada restringida o entrada prohibida a personas no autorizadas; Identificación de la sala como tal.
  - **Luz visible** roja, sobre el marco de la puerta.
  - **Advertencia** para embarazada
- e.- Chequear periódicamente el equipo en cuanto a fugas y dirección.
- f.- Usar delantal y guantes plomados, cuando las condiciones lo requieran.
- g.- Usar filtración adecuada del haz primario, eliminando gran parte de los fotones de baja energía que aumentan inútilmente la dosis al ser absorbidos por el paciente.
- h.- Limitar el campo irradiado estrictamente al área en estudio; éste no debe exceder el tamaño de la película o de la pantalla (uso de colimadores).
- i.- Determinar los valores óptimos de tensión y corriente, a fin de reducir el tiempo de exposición al mínimo indispensable para impresionar la película.
- j.- Lograr el mejor contraste con el uso de la película adecuada, pantalla reforzadora, rejilla antidifusora (bucky), etc.
- k.- Utilizar técnicas adecuadas (Kv, mA, seg., SSD) que proporcionen el máximo de información con el mínimo de exposiciones, evitando sobre todo duplicaciones innecesarias.
- l.- Proteger mediante bandas plomadas los órganos más radiosensibles del paciente, que no sean materia de estudios. (Gónadas).
- m.- Utilizar fluoroscopia o radioscopia sólo en casos imprescindibles. No debe olvidarse que la dosis debidas a dicho procedimiento son de 10 a 100 veces mayores que las producidas por tomas radiográficas.

- n.- Oscurecer lo más posible la sala de fluoro-radioscopia fin de obtener la mejor definición y contraste con el mínimo de intensidad.
- o.- Cuidar que el proceso de revelado se lleve en buena forma con el objeto de evitar la duplicación de placas.

Por último, cabe hacer notar que el diseño de instalaciones nuevas y el cálculo de blindajes para las ya existentes debe ser encomendado a profesionales calificados, en orden a garantizar el cumplimiento de las normas vigentes, a la vez que la optimización de la protección radiológica.

## **CUESTIONARIO**

### **Tema: Generación de rayos X**

1. Explique cuales son las diferencias y las similitudes de los Rayos X y los Rayos gamma
- 2.Cuál es la función de los filtros en los equipos de Rayos X
3. Explique cuál es el aporte del Kilovoltaje y el amperaje, en la calidad de los rayos X.

## CAPÍTULO V

### EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES<sup>1</sup>

El análisis de los efectos de las radiaciones en los humanos procede de los efectos insospechados del uso de los rayos X. En la primera década de su uso masivo, se reportaron lesiones de piel en las manos de los usuarios, pero pronto se reconoció el riesgo de cáncer. Posteriormente a partir de las exploraciones de los elementos radiactivos y de usos erróneos de las radiaciones se ha logrado acumular una experiencia cuantitativa y descriptiva en humana, confirmada por material experimental acerca de los efectos biológicos de las radiaciones

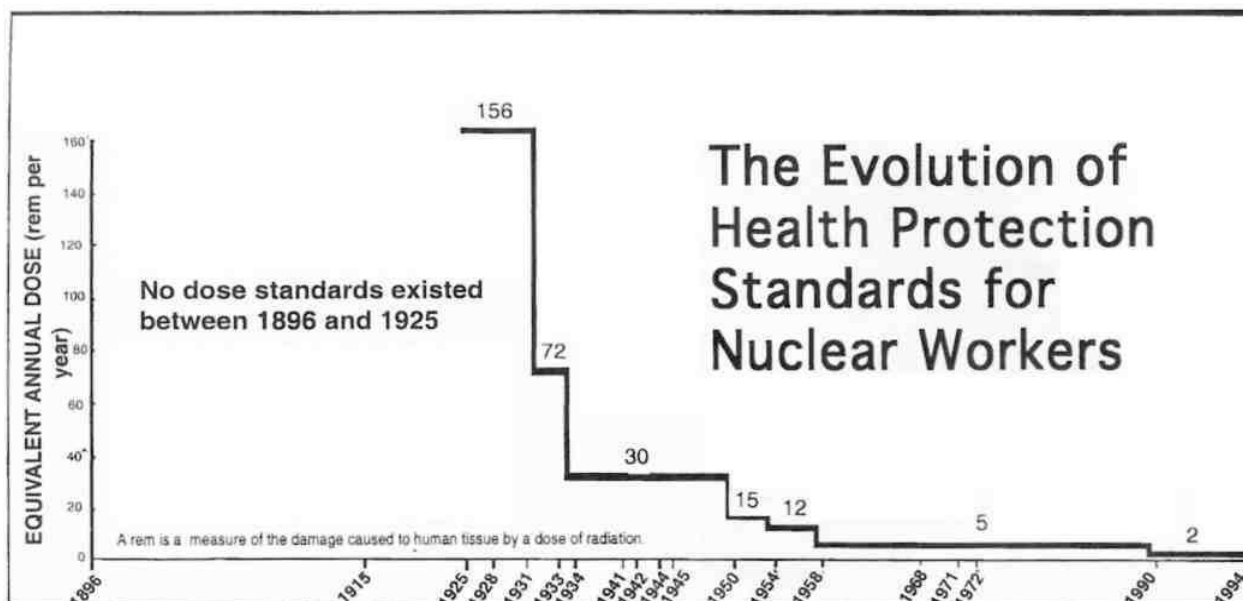
Actualmente las evaluaciones existentes sobre los efectos de rayos X, radiación alfa, beta, gamma y neutrones, proceden básicamente de cinco tipos de estudios:

1. Tiña: pacientes tratados con Rayos X, en los que se produjeron cáncer de piel y tiroides
2. Espondilitis Anquilosante: pacientes tratados con Rayos X, con producción de cáncer óseo.
3. Expuestos Radium: expuestos a <sup>224</sup>Ra en Europa, en tratamientos de Tuberculosis y Espondilitis Anquilosante. En USA pintores de diales de reloj expuestos a <sup>226</sup>, <sup>228</sup>Ra. En ambos casos se produjo cáncer óseo, sarcoma osteogénico, pues el Radium se comporta como el Calcio.
4. Mineros de Uranio: expuestos a Radón en el material particulado. El principal estudio fue realizado en USA, pero actualmente se están analizando los datos de la ex Alemania oriental. En estos reportes el cáncer pulmonar aparece como el principal efecto.
5. Sobrevivientes de la bomba: Tras los 64 mil muertos de la bomba de Uranio lanzada el 5.8.45 en Hiroshima ( <sup>235</sup>U) y el 9.8.45 en Nagasaki ( <sup>239</sup>Pu), con radiación predominantemente gamma y neutrones, se iniciaron estudios en sobrevivientes para estimar el riesgo, asociado a la exposición. La exposición se determinó modelando las radiaciones de la explosión y el sitio en que las personas se encontraban al momento del estallido. Este estudio se inició en 1950 y tiene algunos cuestionamientos respecto a la exactitud de la determinación de la exposición, a las radiaciones que considera y sobre todo respecto al hecho de hacerla en sobrevivientes, pues subestima los efectos. En los hechos las actuales recomendaciones de dosis absorbidas, se basan en revisiones de los resultados de ese estudio, realizadas en 1986.

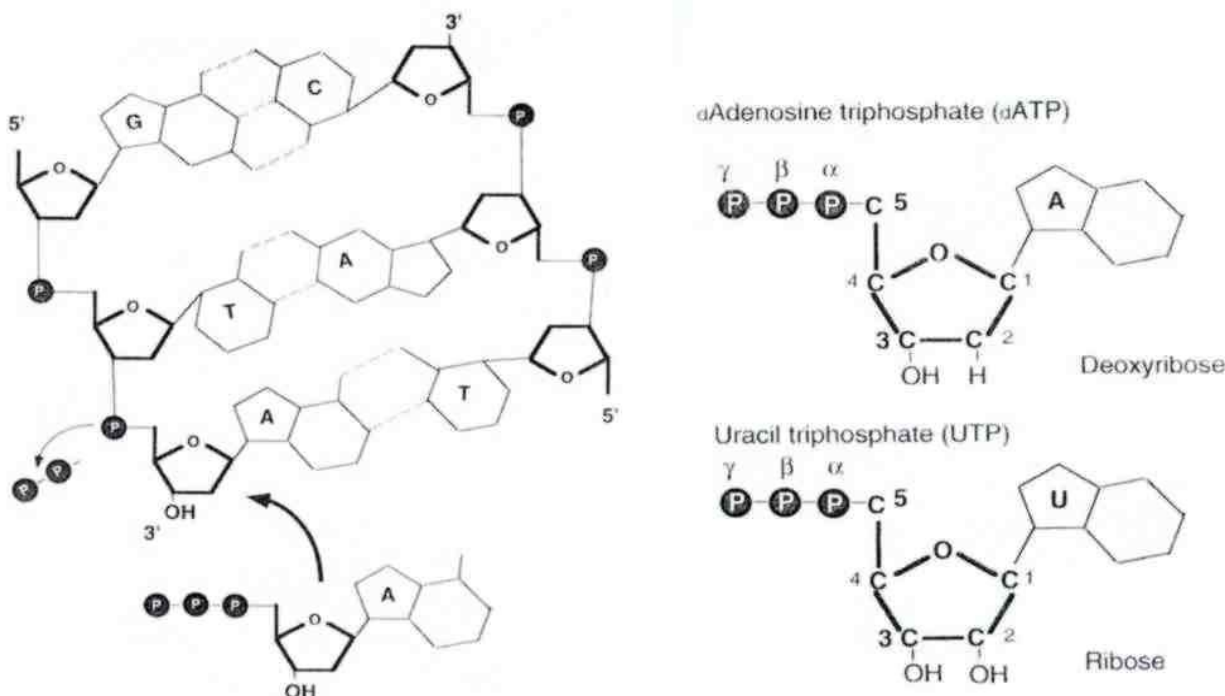
La evolución de las normas de protección radiológica refleja la revisión de las cifras arrojadas por estos estudios.

---

<sup>1</sup> Apuntes del Dr. Yuri Carvajal, Servicio de Salud Llanchipal



Las radiaciones interactúan con el material genético, formado por la macromolécula de Ácido Desoxirribonucleico. Tras este nombre complejo, se oculta una molécula formada por azúcar (pentosa) y bases nitrogenadas, unidas por ácido fosfórico. Esta estructura que se ilustra a continuación, posee una estructura espacial conocida como doble hélice.



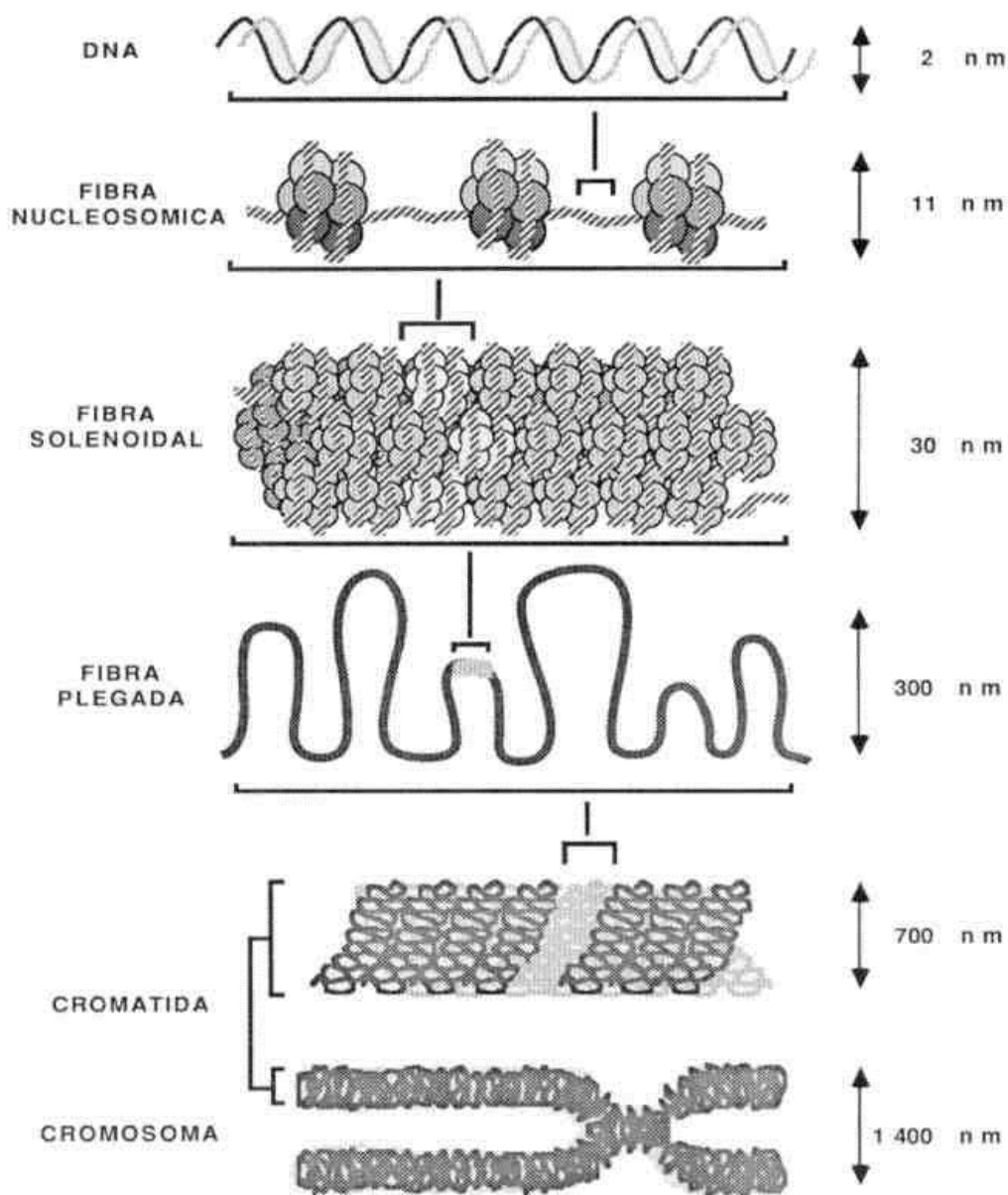
Las radiaciones ionizantes alteran esta compleja estructura y modifican la secuencia de bases nitrogenadas, que codifican la información genética. Este daño posee dos significados: por un lado aquellas llamadas somáticas, que se expresan en las células del sujeto que las sufre, pueden causar un transformación celular que de origen a un



cáncer. Por otro lado, esta mutación, puede tener un efecto sobre las células germinales (en ovarios o testículos) y causar un daño hereditario.

Los Genes son conjunto de tripletas de bases nitrogenadas, que codifican una proteína. Los cambios en el material genético pueden modificar la actividad de la proteína, dejarla inalterada o lisa y llanamente suprimir su producción.

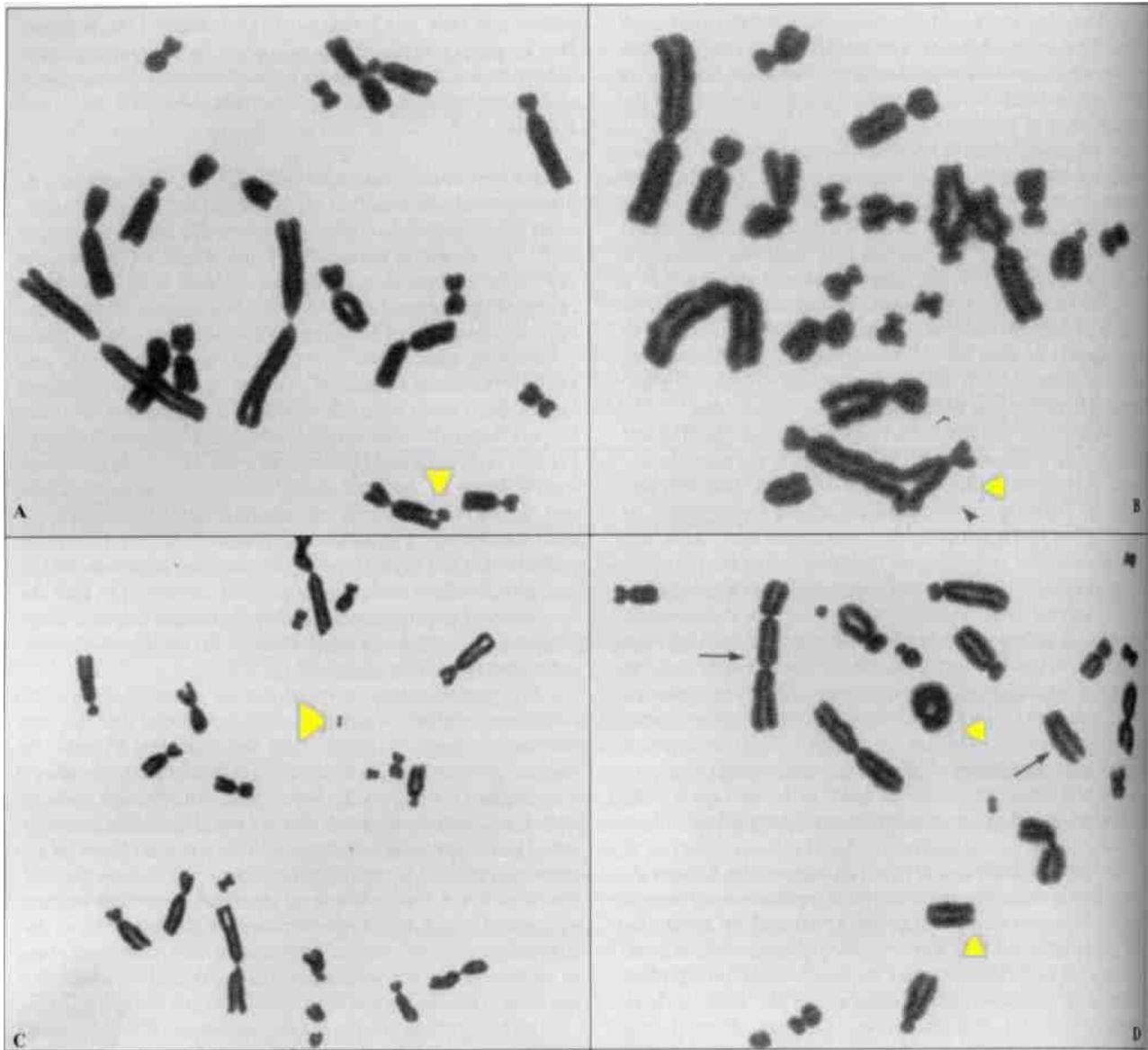
El ADN sufre una serie de plegamientos y durante la división celular se condensa en paquetes de ADN y proteínas, que se observan como cromosomas.



Niveles de progresivo plegamiento y estructuras que llevan desde la hélice de ADN a los cromosomas metafásicos.

Los cromosomas pueden ser afectados en su estructura y sufrir deleciones (pérdida

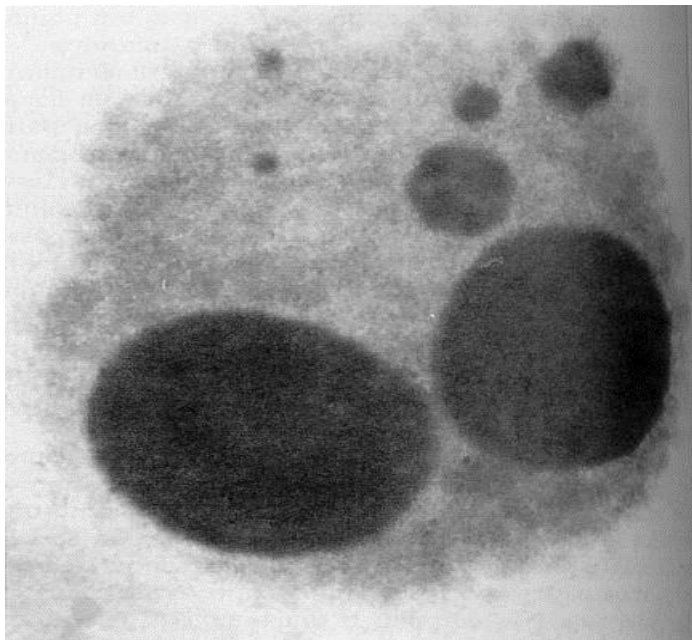
de brazos), dicentrismo, intercambio de cromátidas o cambios en su número (aneuploidía).



Aberraciones cromosómicas inducidas por Rx en hámster

- A) Deleción de cromátida
- B) Intercambio de cromátidas
- C) Deleción intersticial
- D) Varias aberraciones: anillos y cromosomas acéntricos y dicéntricos

El efecto más notable sobre las células es la inhibición de su capacidad para dividirse, que aparece precozmente. Una alteración estructural visible es la aparición de micronúcleos.



Micronúcleos: cinco micronúcleos en un linfocito tratado con bleomicina

En aquellos tejidos en los cuales existe una renovación celular importante, la radiación puede matar a un número de células notable y provocar una necrosis tisular, con pérdida de masa, atrofia y fibrosis.

### Manifestaciones Clínicas

Dentro de las expresiones de estos procesos se distinguen los efectos agudos, también llamados no estocásticos o deterministas, con asociación precisa entre dosis y efecto.

Aquellos de mediano plazo, no poseen una relación tan exacta, sino en términos de probabilidades. Por eso se habla del riesgo de desarrollar cáncer o sufrir un defecto congénito o hereditario a partir de una determinada exposición a radiaciones. Son por tanto llamados efectos probabilistas o estocásticos.

**A) Dentro de los efectos agudos**, podemos señalar que los tejidos más afectados son:

**Piel:** La piel está compuesta de varias capas. La más superficial, epidermis, tiene un rápido recambio. Exposiciones a cifras superiores a 6 Sv provocan enrojecimiento de la zona, que aparece dentro del primer día. Suele durar horas y en dos a cuatro semanas se produce un nuevo enrojecimiento, acompañado de pérdida de pelos. Dosis superiores a 10 o 20 Sv, provocan ampollas, necrosis y ulceración. Las ulceraciones pueden cerrar con fibrosis o reaparecer tras años o meses.

**Medula ósea y tejido linfoide:** Una dosis de 2 a 3Sv es suficiente para alterar tejidos en proliferación como la médula ósea y causar granulocitopenia y trombocitopenia. Los linfocitos, producidos en ganglios, bazo e intestino, también son afectados y su descenso provoca un deterioro inmunitario.

**Intestino:** las vellosidades intestinales están recubiertas de un epitelio en constante crecimiento. Exposiciones superiores a 10 Sv destruyen el epitelio de las vellosidades, causan mala absorción y un cuadro disentérico, cuando las lesiones son extensas.

**Gónadas:** los espermatozoides maduros pueden sobrevivir a grandes dosis ( 100 Sv), pero las células precursoras (espermatogonios) con dosis de 0.15 Sv se dañan y causan oligospermia. Dosis de 2 a 4 Sv pueden provocar esterilidad. En mujeres, 2 4 Sv pueden causar esterilidad temporal.

**Aparato Respiratorio:** El pulmón no es muy radiosensible, pero exposiciones a 6 a 10 Sv pueden causar una neumonía. Este proceso puede cronificarse en una fibrosis pulmonar y cor pulmonale.

**Cristalino:** Las células del epitelio anterior del cristalino son relativamente radiosensible. Una exposición superior a 1 Sv puede causar una opacidad polar. 2 a 3 Sv rápidos o 5,5 a 14 Sv en meses, pueden causar cataratas.

La exposición de cuerpo entero a una cifra superior a 1 Gy puede causar el Síndrome de Radiación Agudo, que comprende: 1) fase inicial prodrómica, malestar general, anorexia, náuseas y vómitos. 2) período latente. 3) fase de enfermedad. 4) recuperación o muerte.

### Formas y características principales del síndrome de radiación agudo

Tiempo desde la irradiación	Forma cerebral (>50 Gy)	Forma gastrointestinal (10 a 20 Gy)	Forma hematopoyética (2 a 10 Gy)	Forma Pulmonar (>6Gy)
Primer día	Náuseas Vómitos Diarrea Cefalea Desorientación Ataxia Coma Convulsiones Muerte	Náuseas Vómitos Diarrea	Náuseas Vómitos Diarrea	Náuseas Vómitos
Segunda semana		Náuseas Vómitos Fiebre Eritema Postración Cefalea Muerte		
Tercera a sexta semana			Debilidad Fatiga Anorexia Fiebre Hemorragia Epilación Recuperación Muerte	
Segundo a octavo mes				Tos Disnea Fiebre Dolor torácico Fallo respiratorio

**B) Los efectos Estocásticos**, que no son directamente dependiente de la dosis, implican tumores benignos y malignos, efectos hereditarios y también el análisis de la irradiación prenatal. Actualmente se discute el efecto prenatal, ya que los estudios de sobrevivientes de la bomba atómica no concuerdan con las evaluaciones de trabajadoras expuestas. Por otra parte, los efectos a bajas dosis son difíciles de estudiar y de modelar, porque usualmente se considera que los agentes cancerígenos no poseen umbral, es decir no hay exposición segura.

### **Cancerígenos**

La génesis de un cáncer involucra tres procesos al menos: inducción, promoción y progresión,. Asimismo hay otras variables del individuo y ambiente que intervienen en esa génesis. Suficientemente establecido está que los siguientes cánceres se presentan asociados a exposiciones a radiaciones ionizantes: estómago, leucemia, esófago, hígado, tiroides, colon, osteosarcoma, vejiga urinaria, colon, gónadas, mama y piel.

### **Hereditarios**

En el análisis de los efectos sobre el ADN, genes y cromosomas, ya analizamos estas implicancias. Sin embargo, actualmente este es un asunto controvertido, ya que aunque se comprenden los mecanismos involucrados y está claramente establecido este efecto en experimentos, las cifras de los estudios en humanos se han interpretado en forma controversial.

### **Prenatales**

En la vida prenatal, dada la alta proliferación celular, como su escasa diferenciación, se producen variados efectos a la radiación. No sólo debemos contar anomalías del desarrollo (ver tabla) sino también retraso mental y riesgo elevado de cáncer infantil como leucemia.

### **Principales anomalías del desarrollo producidas por irradiación prenatal**

Cerebro	Anencefalia, encefalocele, atrofia cerebral, acueducto estrecho, anomalías de médula espinal, porencefalia, mongolismo, retraso mental, hidrocefalia, anomalías de pares craneales, microcefalia, bulbo reducido, neuroblastoma, dilatación de ventrículos
Ojos	Anoftalmia, coloboma, ausencia de retina, nistagmo, glaucoma, coriorretinitis, microftalmia, iris deformado, párpados abiertos, retinoblastoma, cataratas, albinismo parcial, microcórnea, ausencia de cristalino, estrabismo, hipermetropía, ceguera, anquilobléfaron
Esqueleto	Atrofia general, defectos de osificación de la cabeza, burbujas craneales, luxación de cadera, pies deformes, calcáneo en vago, amelanogénesis, cráneo de tamaño reducido, cráneo abovedado, fisura palatina, espina bífida, pie zambo, odontogénesis imperfecta, necrosis esclerotómica, deformidades craneales, cabeza estrecha, tórax en embudo, coxis deforme, anomalías digitales, exostosis tibial
Varios	Situs inversus, hidrocele, cardiopatía congénita, deformidades de orejas, necrosis miotómicas, hidronefrosis, ausencia de riñón, deformidades faciales, alteraciones motoras, anormalidades de la pigmentación de la piel, hidrouréter, gónadas anormales, alteraciones hipofisiarias, necrosis dermatómicas.

## CUESTIONARIO

### **Tema: Efectos de las radiaciones ionizantes en los seres vivos**

Desarrolle los siguientes temas:

1. Órganos y tejidos comprometidos por los efectos determinísticos
2. Efectos probabilísticos cancerígenos
3. Efectos probabilísticos prenatales
4. Efectos probabilísticos hereditarios
5. Defina efecto determinístico y estocástico
6. Cuales son los estudios que permitieron realizar una estimación de los efectos.
7. Cuales son los tejidos más afectados por las radiaciones

## CAPÍTULO VI

### 6.1. - DETECCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Para informarse acerca de la dosis recibida, es necesario, detectar y cuantificar la radiación externa. Existen para ello varios instrumentos que se basan en algunas propiedades de las radiaciones, como son la ionización de gases, el ennegrecimiento de películas fotográficas, la excitación lumínica de algunos sólidos, etc. Se emplean los contadores de centelleo y los contadores del tipo Geiger Muller, tanto portátiles como fijos. Existen también aparatos para detectar la emisión de neutrones.

Se describen ahora algunos detectores de las radiaciones en forma somera.

#### DETECCIÓN POR EMULSIÓN FOTOGRÁFICA

Sobre una superficie plástica (acetato de celulosa), se ubican capas de emulsión y sobre esta, delgadísimas capas de gelatina que tampoco supera los 5 micrones de espesor.

El espesor total de la película varía entre 40 y algunos cientos de micrones.

#### FORMACIÓN DE LA IMAGEN

Al incidir la radiación sobre los cristales de Bromuro de plata de la película transfieren parte de su energía a estos elevando la energía de los electrones de esta molécula (AgBr), estos electrones liberados recorren el cristal generando un potencial electrostático que ocasiona que iones de plata (Ag) viajen a través del cristal encontrándose con los electrones, ya liberados y se oxida a plata libre (negra).

Al estar expuesta la película a la radiación se produce continuamente este proceso de producción de plata libre (gránulos negros), que al revelarse la película se transforman en cristales.

De tal forma que el ennegrecimiento de la película será directamente proporcional a la energía depositada sobre ella y por ende a la radiación incidente, así entonces, la dosis recibida por la película será directamente proporcional al ennegrecimiento de la película.

### 6.2. - DETECTORES DE RADIACIÓN

Un sistema de detección de la radiación puede verse constituido por dos bloques básicos:

- ▶ El detector
- ▶ La instrumentación electrónica asociada.

La función del detector es actuar como transductor o sea, como un dispositivo que transforma la energía del campo de radiación en energía eléctrica. La instrumentación electrónica asociada tiene por objeto procesar adecuadamente las señales entregadas por

el detector y presentar tal información al operador.

Según el mecanismo físico involucrado en el proceso de transducción, los detectores empleados en radioprotección suelen clasificarse en detectores por ionización y en detectores por excitación.

Los detectores por ionización agrupan básicamente a los gaseosos (cámara de ionización, contadores proporcionales y tubo Geiger - Muller) y a los semiconductores.

Los detectores por excitación se pueden clasificar a su vez en inmediatos y retardados. Los detectores inmediatos son básicamente los de centelleo, en tanto que los retardados agrupan a los de películas fotográfica, los termoluminiscentes y los de emisión exoelectrónica termo o fotoestimulada.

Se describirá someramente algunos de ellos y su uso.

### 6.2.1. - Detectores gaseosos

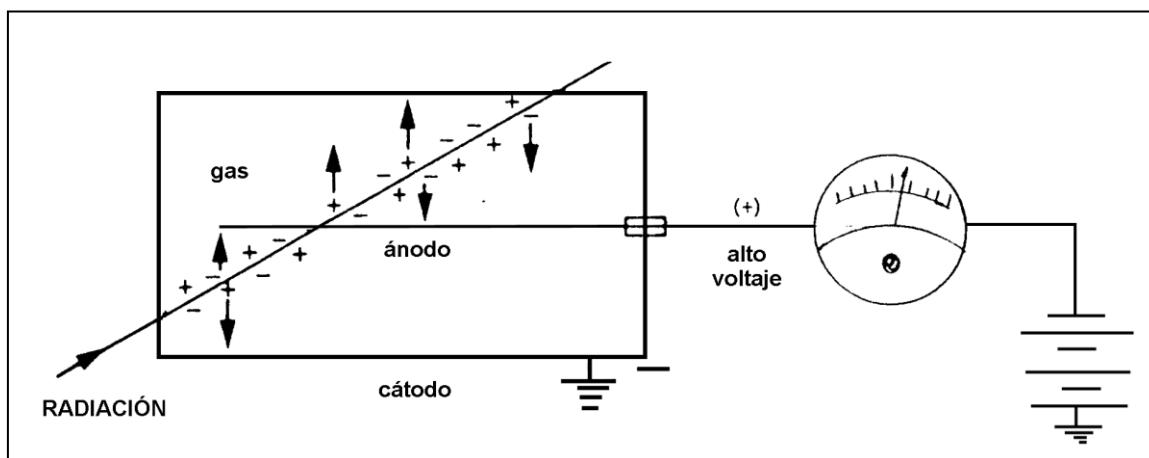
Se basan en el principio de recolección de iones formados por la acción de la radiación ionizante sobre un gas, el cual puede ser aire o mezclas gaseosas como por ejemplo un gas noble con metano o isobutano.

#### 6.2.1.1. - Cámara de ionización

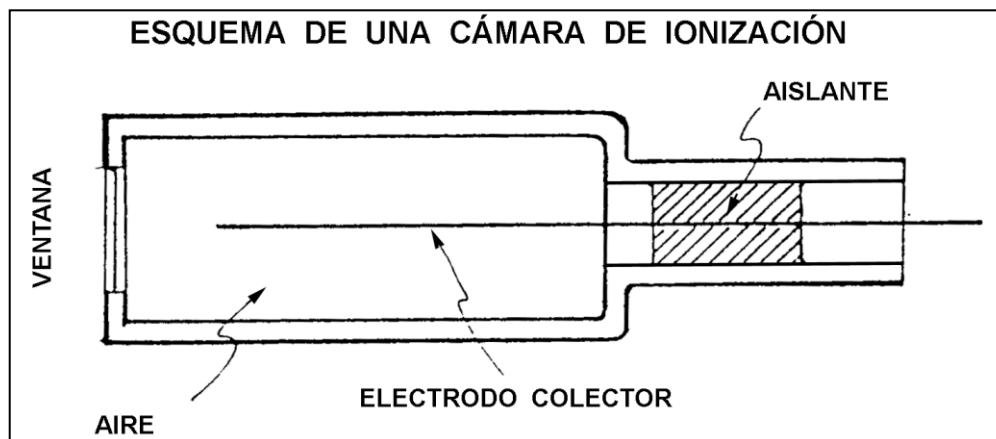
Consta de un recinto cerrado que supondremos cilíndrico, en el que la superficie exterior o cátodo es conductor. En el eje del cilindro y aislado de la cámara, se encuentra un ánodo constituido por una varilla metálica. En el interior del cilindro hay normalmente aire a presión atmosférica.

Al incidir radiación sobre el recinto de la cámara, se producirá ionización del aire, haciéndose conductor. Si se aplica una tensión eléctrica  $V$ , como se muestra en la figura siguiente, habrá una corriente eléctrica que dependerá del número de iones producidos, por segundo, en forma de pulsos de corta duración.

Así, este detector gaseoso, transduce la exposición radiactiva, en corriente eléctrica proporcional, donde los pulsos son contados directamente por un instrumento acoplado al cilindro, transformándolos en unidades de radiación.







### 6.2.1.2. - Contador proporcional

Su esquema de construcción es similar al de la cámara de ionización con la diferencia principal que el ánodo es de alambre delgado.

Al incidir una partícula radiactiva al interior del cilindro, ioniza el gas y libera portadores de carga eléctrica. Los iones positivos se desplazan hacia el cilindro exterior o cátodo y los electrones hacia el ánodo (positivo), los cuales a medida que se acercan al ánodo, aumentan su velocidad llegando a ser capaces de ionizar otras moléculas del gas. Produciéndose así un efecto multiplicativo de la carga de los portadores.

Este efecto multiplicativo depende de la tensión aplicada al ánodo y puede llegar a ser igual a 1.000.000 de veces. Gracias a la multiplicación de la ionización primaria, es posible detectar separadamente cada interacción. Además, la amplitud del pulso de corriente recolectada es proporcional a la energía cedida por la partícula.

El contador proporcional permite entonces obtener dos informaciones respecto a un emisor radiactivo:

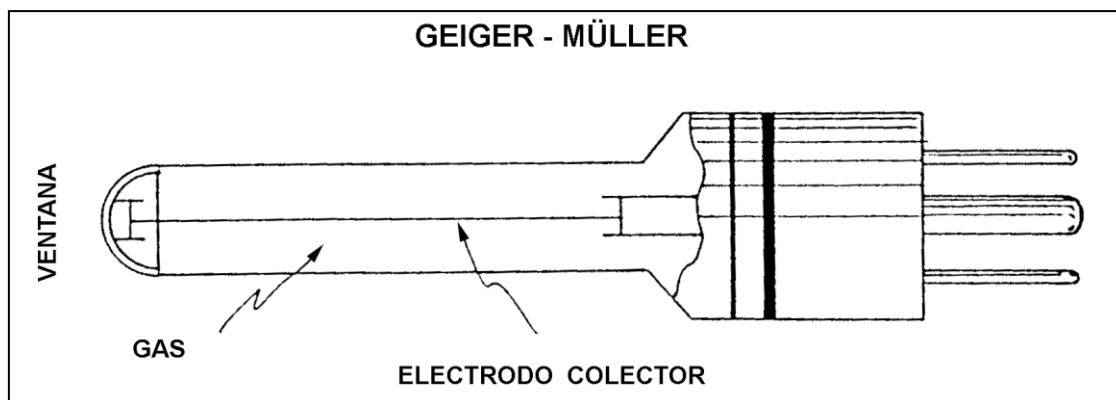
- ▶ la tasa de conteo, proporcional a la actividad, y
- ▶ la amplitud del pulso, proporcional a la energía de la partícula.

Los pulsos entregados por el contador proporcional tienen un ancho de aproximadamente  $3.0 \times 10^{-7}$  segundos, lo que permite que sea usado en campos de radiación relativamente intensos.

### 6.2.1.3. - Contador Geiger - Müller

Tiene el mismo esquema del contador proporcional, trabajando con factores de multiplicación tan elevados que toda ionización primaria produce una avalancha, de iones y electrones, de la misma magnitud. Por lo que son extremadamente sensibles a cualquier radiación que produzca un par iónico.

Este fenómeno de avalancha hace que el Geiger - Müller sea incapaz de diferenciar partículas de diferentes energías pero la amplitud del pulso eléctrico es tal (algunos volts) que la electrónica asociada al detector es muy simple y poco costosa.



### 6.2.2. - Detectores de Centelleo

Un detector de centelleo es aquel que cambia la energía cinética de una partícula ionizante en destello luminoso (indetectable al ojo humano). Estos detectores son utilizados ampliamente para la detección de radiación gamma y beta de baja energía.

Asociados al detector de centelleo hay un tubo fotomultiplicador que emite electrones por incidencia de luz y multiplica el pulso de electrones. Así cada partícula radiactiva que interactúa con el detector, genera, a la salida del fotomultiplicador, un pulso de corriente proporcional a la energía transferida.

El detector de centelleo permite entonces evaluar la actividad de una muestra radiactiva y la energía de las partículas.

### 6.2.3. - Detectores de Termoluminiscencia

Muchos cristales emiten luz cuando son calentados después de haber sido expuestos a radiaciones, denominándose cristales termoluminiscentes. Entre estos se pueden citar los cristales de fluoruro de calcio ( $\text{CaF}_2$ ) y fluoruro de litio ( $\text{LiF}$ ). La absorción de energía de la radiación en el cristal excita los átomos dando lugar a la producción de electrones libres que pasan de la banda de valencia, donde sólo pueden existir confinados a grupos de átomos, a la banda de conducción donde pueden moverse libremente. La mayoría de los electrones regresan inmediatamente a su estado normal, pero unos pocos quedan atrapados en las impurezas.

Si por un medio adecuado es calentado bruscamente hasta una temperatura de unos 400 grados centígrados por ejemplo, estos electrones atrapados son elevados a niveles más altos desde los cuales pueden regresar a su estado normal. Cuando esto ocurre hay emisión de luz, y la cantidad total emitida es proporcional al número de electrones atrapados, los cuales a su vez son proporcionales a la cantidad de energía absorbida de la radiación.

Los detectores termoluminiscentes responden cuantitativa mente a los rayos x, beta, gamma, electrones y protones en un rango desde algunos milirads a alrededor de 100.000 rads. Debido a que el número atómico efectivo del  $\text{LiF}$  es aproximadamente igual al tejido blando, tiene gran aplicación biológica, aunque no tiene la gran precisión y reproducibilidad que la cámara de ionización se, puede emplear en aquellas situaciones donde no es posible usar la cámara.

# CUESTIONARIO

## Tema: Detección de las radiaciones ionizantes

1. De que tipo es el detector Geiger Muller?
2. Cómo se clasifican los detectores por excitación?
3. Porque el uso de detectores es importante?
4. Que tipos de equipos utilizaría para medir la tasa de exposición generada por radiación X.

## CAPÍTULO VII

### 7.1. - PRINCIPIOS BÁSICOS SOBRE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

#### 7.1.1. - Objetivo de la Protección Radiológica

La protección radiológica concierne a la protección de los individuos, de su progenie y de la totalidad del género humano, permitiendo al mismo tiempo actividades necesarias que pueden ocasionar una exposición a las radiaciones. Los efectos adversos contra los cuales se necesita protección se conocen como somáticos si aparecen en el propio individuo expuesto y "hereditarios" si afectan a sus descendientes.

Los efectos "**estocásticos**" son aquellos en los que la probabilidad de que ocurra un efecto, más bien que su gravedad, se considera como función de la dosis, sin umbral. Los efectos "**no estocásticos**" son aquellos cuya gravedad varía con la dosis y en cuya aparición puede, por consiguiente, haber un umbral. En el margen de dosis que se considera en protección radiológica, los efectos hereditarios se estiman estocásticos. Algunos efectos somáticos son estocásticos; entre ellos se considera que la carcinogénesis es el principal riesgo somático de la irradiación a dosis bajas y por consiguiente el mayor problema en la protección radiológica.

Algunos efectos somáticos no estocásticos son específicos de determinados tejidos, como en el caso de la catarata del cristalino, de las lesiones no malignas de la piel, de la reducción del número de células en la médula ósea que producen deficiencias hematológicas y de los daños a las células gonadales que conducen al deterioro de la fecundidad. Otros efectos no estocásticos pueden aparecer en los vasos sanguíneos o en elementos del tejido conjuntivo, que son comunes a la mayoría de los órganos corporales, lo que exige, por consiguiente, como medida de precaución, la aplicación de un límite de dosis equivalente a todos los tejidos corporales para evitar la aparición de efectos no estocásticos en cualquier tejido. En todos estos cambios la intensidad del efecto depende de la magnitud de la dosis recibida y es verosímil que exista un umbral bien definido de dosis por debajo del cual no aparecen efectos perjudiciales.

El propósito de la protección radiológica debe ser impedir los efectos perjudiciales no estocásticos y limitar la probabilidad de efectos perjudiciales a niveles que se consideran aceptables. Otro objetivo suplementario consiste en asegurar que las prácticas que implican exposición a las radiaciones están justificadas.

La prevención de los efectos no estocásticos se podría conseguir estableciendo los límites de dosis equivalentes en valores lo suficientemente bajos como para no alcanzar el umbral, ya sea en la exposición durante toda la vida o durante toda la vida profesional. La limitación de los efectos estocásticos se consigue manteniendo todas las exposiciones justificables al nivel más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales y respetando siempre la condición de que no se deben exceder los límites de dosis equivalente.

La mayoría de las decisiones en las actividades humanas se basan en el equilibrio implícito de costos y beneficios que lleva a la conclusión de que la práctica elegida es "ventajosa". Aunque menos, generalmente, se reconoce, también, que la ejecución de la práctica elegida debe ajustarse para producir el máximo beneficio al individuo o a la sociedad.-

En protección radiológica está siendo posible formalizar esos procedimientos amplios de decisión aunque no siempre sea posible cuantificarlos. Sin embargo, la aplicación de dichos procedimientos no ofrece siempre suficiente protección al individuo. Por consiguiente es necesario, también por esta razón, establecer límites de dosis equivalente en situaciones donde los beneficios y los perjuicios no recaen sobre los mismos miembros de la población.

### 7.1.2. - Sistema de Limitación de Dosis

Por las razones indicadas más arriba la comisión (Comisión Internacional de Protección Radiológica: ICRP) recomienda un **sistema de limitación de dosis** cuyos puntos, principales son:

- ▶ No se debe adoptar ninguna práctica a menos que su introducción produzca un beneficio neto y positivo; (**Justificación de la práctica**)
- ▶ Todas las exposiciones se deben mantener tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales; (**Optimización de la protección radiológica**) y
- ▶ La dosis equivalente recibida por los individuos no debe exceder los límites recomendados por la Comisión para las circunstancias apropiadas (**Limitación de la dosis individual**).

Al aplicar estas recomendaciones se debe reconocer que muchas prácticas actuales producen dosis equivalentes, altas o bajas que serán las permitidas en el futuro.

Estos compromisos de dosis equivalentes  $H = D \times Q \times N$  deben tenerse en cuenta para que el desarrollo necesario de las prácticas presentes o futuras no pueda dar lugar a la exposición indebida de cualquier miembro de la población.

A pesar de que el objetivo principal de la protección radiológica es el logro y el mantenimiento de las condiciones de seguridad apropiadas para las actividades que impliquen exposición humana, el nivel de seguridad requerido para la protección de todos los seres humanos se considera probablemente adecuado para proteger otras especies, aunque no necesariamente miembros individuales de las mismas. La Comisión considera, por consiguiente, que si el hombre está adecuadamente protegido es probable que los otros seres vivos lo estén también.

## 7.2. - PROTECCIÓN CONTRA LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LOS AMBIENTES DE TRABAJO

En los ambientes de trabajo con radiaciones ionizantes los peligros más comunes son la radiación externa y la radiación interna por contaminación radiactiva del ambiente de trabajo.

### 7.2.1. - Protección para la radiación externa

Las fuentes de emisión de radiación externa la constituyen principalmente los equipos de rayos X y las fuentes selladas que pueden ser de uso médico o industrial.

Ejemplo de fuentes externas.

- ❖ Equipos de rayos X diagnóstico
- ❖ Equipos de rayos X dentales
- ❖ Equipos de rayos X industriales
- ❖ Equipos de gammagrafía industrial
- ❖ Bombas de cobalto terapia
- ❖ Aceleradores lineales
- ❖ Reactores nucleares
- ❖ Fuentes selladas de uso industrial - etc.

Para fines de protección radiológica podemos considerar la siguiente ley, que tiene mucha importancia en la protección contra las radiaciones. Todos los equipos de rayos X y las fuentes selladas se consideran como fuentes puntuales.

#### 7.2.1.1. - Protección por medio de la Distancia

En las fuentes puntuales se aplica la ley del cuadrado inverso que se puede sintetizar de la siguiente manera. Si se conoce la intensidad (I) de dosis en un punto, esta intensidad irá variando con el cuadrado inverso de la distancia. Esto representado en forma matemática se puede escribir así:

$$I_1 \times D^2_1 = I_2 \times D^2_2 \quad \text{en donde:}$$

$I_1$  = intensidad de la dosis a la distancia  $D_1$

$I_2$  = intensidad de la dosis a la distancia  $D_2$

La fórmula anterior nos demuestra claramente que duplicando la distancia, la intensidad se reduce a la cuarta parte, si triplicamos la distancia se reducirá a la novena parte y así sucesivamente.

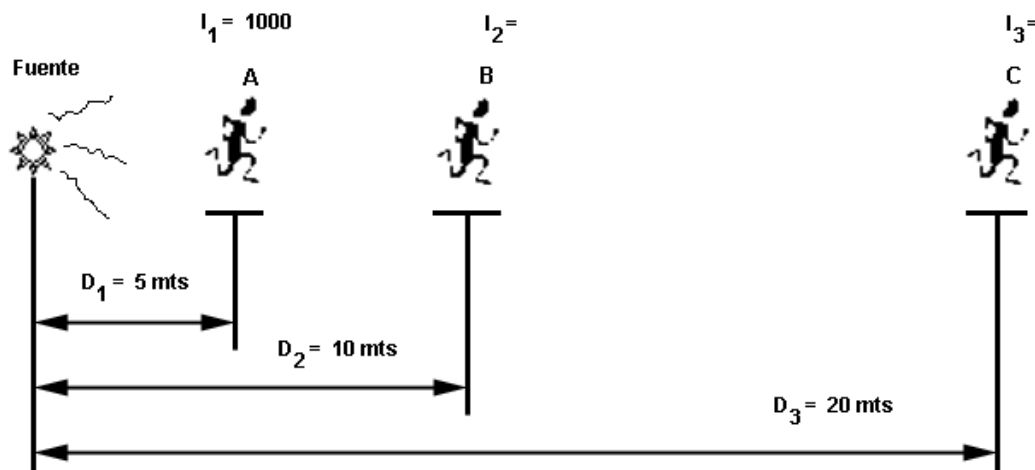
#### Ejemplo de aplicación.

Supongamos que una fuente sellada da en el punto A. situado a 5 metros de ella una dosis de 1.000 mR/h

¿Cuál será la dosis que recibirán personas que se sitúen en B = 10 metros y en C = 20 metros de la fuente?.

#### **Solución:**

Sabemos que:  $I_1 \times D^2_1 = I_2 \times D^2_2$  por lo tanto  $I_2$  vale:



$$I_2 = \frac{X_1 \times D_1^2}{D_2^2} = \frac{1000 \times 25}{100} = 250$$

$$I_3 = \frac{X_1 \times D_1^2}{D_3^2} = \frac{1000 \times 25}{400} = 62,5$$

Con lo que acabamos de ver, la distancia es un medio de protección efectivo, económico y fácil de aplicar.

### 7.2.1.2. - Protección por medio de blindaje

El grado de intensidad de la dosis puede disminuirse, si colocamos entre la fuente y la persona o punto de interés un material absorbente a la radiación.

La absorción de la radiación depende del tipo de material y su espesor. Para fines de protección radiológica se prefieren los materiales de alta densidad como suelen ser el hierro, cobre, plomo, concreto etc.

El blindaje constituye uno de los principios más importantes en protección radiológica. Sabemos ya, que la radiación X o gamma puede atenuarse y disiparse por los 3 métodos conocidos que son: Efecto fotoeléctrico - Efecto de Compton y Producción de pares. El efecto fotoeléctrico es más importante a bajas energías, el efecto de Compton a medianas energías y la producción de pares a altas energías.

Los materiales de absorción serán eficaces de acuerdo a su espesor y su coeficiente de absorción lineal ( $\mu$ ). Estos valores se han determinado por medios

experimentales para todas las energías de radiación y para muchos materiales absorbentes obteniéndose valores de algunos de ellos que figuran en la siguiente tabla:

**Coefficiente de Absorción Lineal ( $\mu$ )**

E(Mev)	Pb	Fe	Al	H <sub>2</sub> O
0,2	5,00	1,06	0,33	0,140
0,5	1,70	0,63	0,23	0,090
1,0	0,77	0,44	0,16	0,067
1,5	0,57	0,40	0,14	0,057
2,0	0,51	0,33	0,12	0,048
2,5	0,48	0,31	0,10	0,042
3,0	0,47	0,30	0,0909	0,038
4,0	0,48	0,27	0,082	0,033
5,0	0,48	0,24	0,074	0,030

Si interponemos entre la fuente de radiación y en punto A un material de absorción, la intensidad de la dosis se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$I = I_0 \times e^{-\mu X}$$

en donde:

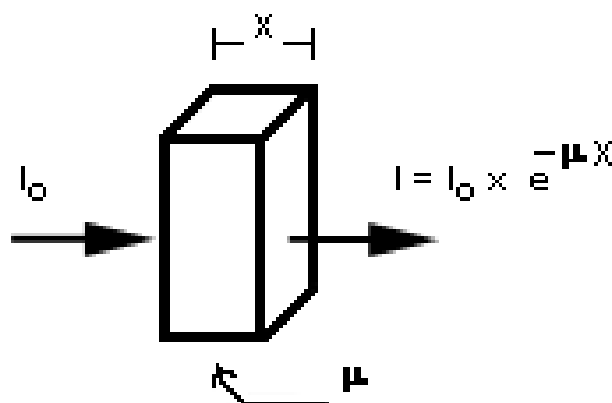
$I_0$  = Intensidad de la dosis original

$I$  = Intensidad de la dosis (después de atravesar el medio de absorción)

$\mu$  = Coeficiente de atenuación lineal

$X$  = Espesor del material

El siguiente esquema explica claramente la aplicación de esta relación:



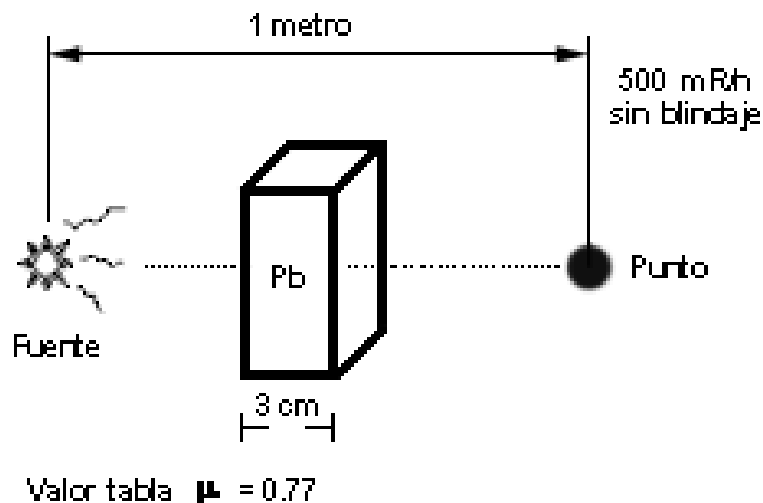


### Ejemplo de Cálculo.

Una fuente de 1 MeV de energía de radiación gamma produce una intensidad de dosis de 500 mR/h a 1 metro de distancia. ¿Cuál será la dosis si se interpone entre la fuente y el punto un blindaje de 3 cm de plomo?

### Solución.

Cuando la intensidad de dosis pasa a través de un medio de absorción toma el siguiente valor.



Con blindaje será:

$$I_p = I_0 \times e^{-\mu x}$$

$$I_p = 500 \times e^{-0.77 \times 3}$$

$$I_p = 49,5 \text{ mR/h} \quad \text{a 1 metro}$$

### Espesor semireductor

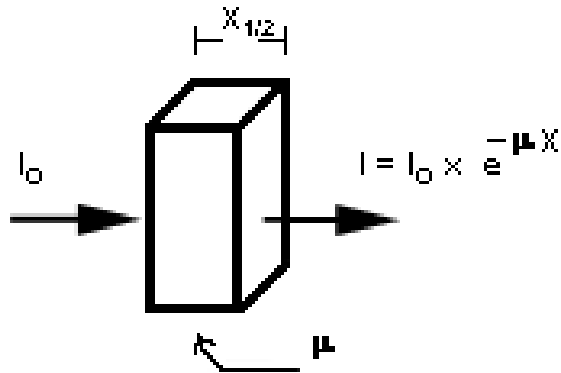
Este valor es muy útil en los cálculos de blindaje. El espesor semireductor. se define de la siguiente manera:

Es el espesor de cualquier material tal, que la intensidad de la dosis al atravesarlo se reduce a la mitad.

En efecto, Sabemos que:

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

Supongamos ahora que intercalamos un espesor semireductor



Y reemplazamos  $I$  en la ecuación anterior por lo siguiente:

$$I = I_0 / 2$$

quedando:

$$\frac{I_0}{2} = I_0 \times e^{-\mu X_{1/2}}$$

$$X_{1/2} = \frac{0,693}{\mu}$$

### Ejemplo de Cálculo

Se tiene una fuente gamma de 1 MeV de energía. Si consideramos que el espesor semireductor debe ser de plomo. ¿Cuál será su espesor?

### Solución

Según la tabla el Coeficiente para el plomo y energía de 1 MeV es de 0,77, luego:

Espesor Semireductor:

$$X_{1/2} = \frac{0,693}{\mu} = \frac{0,693}{0,77} = 0,9 \text{ cm}$$

luego 0,9 cm de Pb reducen la energía a la mitad

### 7.2.1.3. - Protección por disminución del Tiempo de Exposición

Cuando se considera el tiempo como medida de protección lo debemos considerar bajo el siguiente aspecto. Se sabe que todo trabajador con radiaciones ionizantes tiene una limitante de dosis a la cual denominamos Dosis Máximas Permisibles (D.M.P.). Los valores de estas dosis están calculadas en tiempos que van disminuyendo de un año a 1 hora como se indica a continuación.

#### DOSIS MÁXIMAS PERMISIBLES PARA PERSONAS OCUPACIONALMENTE EXPUESTAS

5.000	mR en	1 año
400	mR en	1 mes
100	mR en	1 semana
20	mR en	1 día
2,5	mR en	1 hora

Para el Público<sup>2</sup> estos valores deben dividirse por 10

Estas dosis máximas permisibles, es posible limitarlas haciendo uso del tiempo.

**Ejemplo:** Para no sobrepasar 20 mR por día deberíamos trabajar 8 horas diarias sin sobrepasar 2,5 mR/h.

Para ciertos trabajadores, por ejemplo, expuestos a radiaciones ionizantes, aún con buenos sistemas de protección con blindaje y distancia, la variable tiempo de exposición es un factor preponderante, como es el caso de las personas que por su actividad deben manipular elementos radiactivos (Medicina Nuclear y algunas actividades en Oncología). Generalmente en estas Áreas existen elevadas intensidades las cuales se pueden rebajar al mínimo si sabemos limitar el tiempo de exposición.

Una muy buena manera de rebajar la dosis de estas personas, es haciéndolas trabajar en relevos de manera de evitar que ninguna de ellas sobrepase la D.M.P.

### 7.2.2. - Protección para la radiación interna

Un material radiactivo puede ingresar al cuerpo por **ingestión**, por **inhalación** y por **absorción**.

El peligro de ingestión, es el más común de todos, y está presente en todos aquellos laboratorios en los cuales los isótopos usados en soluciones se deben manipular, (hacer las preparaciones), aplicar (distintas técnicas usadas en pacientes por ejemplo), almacenar y desechar elementos radiactivos.

<sup>2</sup> Recomendación del ICRP

Cualquier material radiactivo que ingrese al cuerpo por cualquiera vía, se convierte en un peligro interno de radiación.

La severidad de esta contaminación interna depende de:

- Cantidad de material ingerido
- Tipo de material radiactivo ingerido
- Energía y tipo de radiación
- Vida media del material ingerido

Los emisores alfa y beta son los radionúclidos más peligrosos desde el punto de vista del riesgo interno, por sus ionizaciones específicas muy elevadas.

Con el objeto de prevenir el control de la contaminación radiactiva debemos tomar las siguientes medidas de uso práctico:

- ▶ Uso de equipos de Protección.
- ▶ Manipular los elementos en campanas especialmente diseñadas con extracción al exterior.
- ▶ Utilizar indumentaria especial para el Laboratorio.
- ▶ Los mesones de trabajo deben ser de material no poroso y de fácil descontaminación cubiertas de acero y formalita.
- ▶ Debe haber prohibición estricta de comer y fumar en los Laboratorios donde se manipulan materiales radiactivos.
- ▶ No pipetear material radiactivo con la boca.
- ▶ Idoneidad y buenas maneras de trabajo.

## CUESTIONARIO

### Tema: Principios básicos de protección radiológica

1. Que se entiende por efectos estocásticos y no estocásticos?
2. Cuales son los principios que entrega el ICRP para implementar un sistema de protección radiológica?. Explique.
3. Cuales son los limites primarios de dosis recomendados por el ICRP, tanto para trabajadores expuestos como para publico con el objetivo de limitar la probabilidad de efectos estocástico.
4. Indique y explique cuales son las técnicas utilizadas para la protección contra las radiaciones ionizantes.

### Cálculos

5. Se tiene una fuente de Cesio 137 cuya actividad es 300 mCi. A que distancia debe ubicarse una persona para no exceder los 2,5 mR/h.

Constante gamma del Cesio 137 es  $0,33 \text{ (R/h)} \cdot (\text{m}^2/\text{Ci})$

Resp.: 6,3 mt

6. Se tiene una fuente de Iridio 192 cuya actividad es 100 mCi. A que campo de radiación se encuentra expuesto a un metro de distancia. Cuanto tiempo debiera estar en esa posición en el caso de sobrepasar el límite derivado de 2,5 mR/h.

Constante gamma del Iridio 192 es  $0,48 \text{ (R/h)} \cdot (\text{m}^2/\text{Ci})$

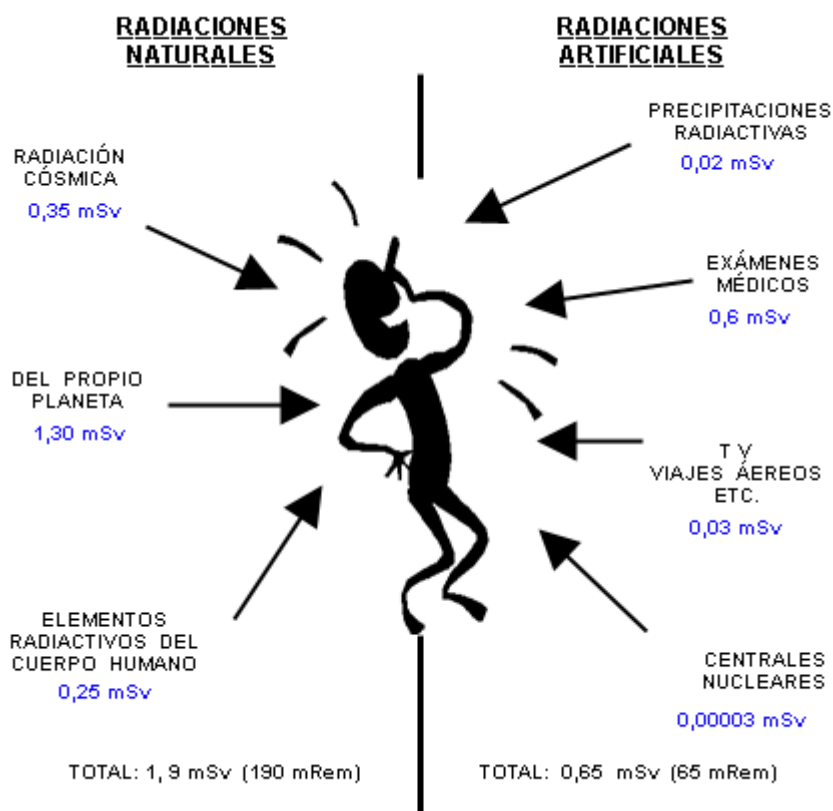
Resp.: a.- 48 mR    b.- 3,125 min

## CAPÍTULO VIII. –

### PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OPERACIONAL

#### INTRODUCCIÓN

El hombre ha estado siempre expuesto a radiaciones ionizantes cuyos orígenes son de diversas fuentes naturales. La protección radiológica resulta como una respuesta para controlar los efectos nocivos que estas radiaciones fueron produciendo en el hombre a través del tiempo.



#### 8.1. - OBJETIVO.

Mantener bajo control radiológico toda situación que involucre exposiciones a las radiaciones ionizantes, a través del control de las condiciones imperantes y de supervisiones "in situ".

#### 8.2. - CONDICIONES DE TRABAJO.

La limitación del riesgo radiológico se logra mediante la aplicación del sistema de limitación de dosis. Ello implica una acción de vigilancia sobre las dosis que recibe el

personal. La evolución de las dosis de radiación que reciben las personas en su trabajo puede efectuarse mediante técnicas de monitoreo individual o mediante técnicas de monitoreo ambiental.

### **Condición de trabajo "A".**

Es la que corresponde a aquellos trabajadores que pueden recibir dosis que excedan 3/10 de los límites establecidos.

### **Condición de trabajo "B".**

Es la que corresponde a aquellos trabajadores para los cuales es sumamente improbable que las dosis excedan los 3/10 de los límites establecidos.

## **8.2.1. - Clasificación de zonas.**

### **Zona Controlada.**

Es el área o recinto, bien definido dentro de las instalaciones, en los que pueden llegar a recibirse dosis iguales o superiores a los 3/10 de las dosis máximas admisibles para el personal profesionalmente expuesto.

### **Zona Supervisada.**

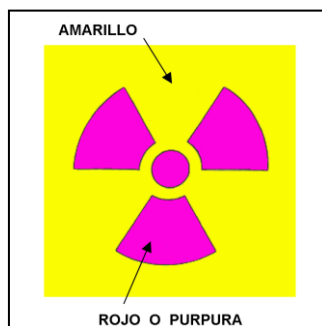
Es el área en la que pueden recibirse dosis menores de los 3/10 de las dosis máximas admisibles.

## **8.2.2. - Señalización.**

La señalización debe utilizarse siempre que exista un motivo y debe suprimirse en cuanto cese el riesgo radiológico.

Debe emplearse exclusivamente para el riesgo al que se refiere. Hay que respetar siempre la señalización y nunca ser indiferente a ella.

El trisector es el símbolo internacional de la radiactividad, indica la presencia real o potencial de radiaciones ionizantes.



### **8.2.3. - Límites de trabajo con radiaciones ionizantes (operacionales).**

Para prevenir la ocurrencia de efectos no-estocásticos se recomienda un límite de 50 rem (0.5 Sv) en un año para todos los tejidos excepto el cristalino del ojo, para el cual el límite anual recomendado es 30 rem (0.3 Sv). Estos valores se aplican independientemente de si los tejidos son expuestos solos en combinación con otros tejidos, y tienen como objetivo limitar las exposiciones que ya cumple con la limitación para efectos estocásticos, la magnitud física que es limitada es la dosis equivalente efectiva cuyo límite anual, es 5 rem (50 mSv).

Los límites, sin embargo, tienen como objetivo asegurar una protección adecuada aun para los individuos más expuestos. Las exposiciones individuales consistentemente cercanas a los límites pueden ser comparadas con una situación convencional en la cual un riesgo mayor que el promedio ha sido identificado para algunos trabajadores. Si las exposiciones se mantuvieran repetidamente cerca de los límites para una fracción substancial de trabajadores, la situación sería aceptable solamente si un cuidadoso análisis costo - beneficio demuestra que el riesgo resultante es justificado, y siempre que ello fuera también el resultado de la optimización de la protección.

El límite anual para la dosis equivalente efectiva en miembros individuales del público se aplica la dosis equivalente efectiva promedio en el " grupo crítico ", es decir en un grupo pequeño y relativamente homogéneo que represente los individuos más expuestos. Si se hacen suposiciones extremas maximizando los parámetros pertinentes en la selección del grupo crítico, la dosis equivalente efectiva real será considerablemente menor que el valor postulado y, en estos casos, las nuevas recomendaciones del ICRP mantienen el valor previamente recomendado de 500 (mRem) para el límite anual.

### **8.2.4. - Niveles de referencia.**

Para decidir respecto del grado de importancia de los datos obtenidos como resultado de las mediciones efectuadas dentro de un plan de monitoreo, es necesario disponer de niveles de referencia que permitan tomar decisiones respecto del control de una instalación, previniendo o corrigiendo situaciones que tiendan o se escapen de lo normal y que además permitan decidir si la información obtenida tiene interés desde el punto de vista de Protección Radiológica, para lo cual se recomienda la siguiente clasificación:

#### **8.2.4.1. - Nivel de registro.**

Es un valor de, dosis equivalente, dosis efectiva o de incorporación, por encima del cual la información tiene suficiente interés como para registrarla y archivarla, el que podría ser 1/10 del límite derivado o de la fracción del límite, de dosis autorizado para la instalación correspondiente al período de la medición.



### 8.2.4.2. - Nivel de investigación.

Es un valor de, dosis equivalente, dosis efectiva o de incorporación, sobre el cual los datos tienen la suficiente importancia como para justificar una investigación de sus causas, el que podría tener un valor igual a 3/10 del límite derivado o de la fracción del límite de dosis autorizado para la instalación correspondiente al período de la medición.

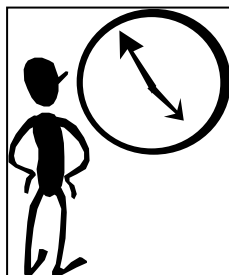
### 8.2.4.3. - Nivel de intervención.

Es un nivel de, dosis equivalente, dosis efectiva o de incorporación, que se fija de tal forma que, si se supera, es necesario tomar medidas correctivas dado que está frente a una condición de trabajo anormal.

## 8.3. - UTILIZACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROTECCIÓN

### 8.3.1. - Control de tiempo de permanencia

Las dosis recibidas son proporcionales al tiempo de exposición, por lo tanto debe reducirse al máximo el tiempo mediante una adecuada preparación de un programa de trabajo.



#### 8.3.1.1. - Jornada laboral

La jornada laboral está limitada a un tiempo determinado de operación, el cual se ha establecido de 8 horas diarias, 40 horas semanales y 2000 horas anuales; con esto se cumple con uno de los importantes Factores de Control Radiológico: "**El Tiempo**".

#### 8.3.1.2. - Exposición especial planificada

Cuando se requiera realizar un trabajo no rutinario, que signifique un mayor riesgo por sobreexposición del trabajador, éste debe ser planificado para evitar Exposiciones innecesarias, contaminación interna y externa, etc., de tal manera (le mantener un control de las dosis recibidas por el trabajador).

### 8.3.2. - Utilización del factor distancia

La intensidad de radiación de una fuente radiactiva disminuye proporcionalmente con el cuadrado de la distancia, por lo tanto debe mantenerse la mayor distancia posible utilizando pinzas u otros dispositivos adecuados para efectuar el trabajo en forma segura.

- Controles Remotos
- Telemanipuladores
- Alejamiento

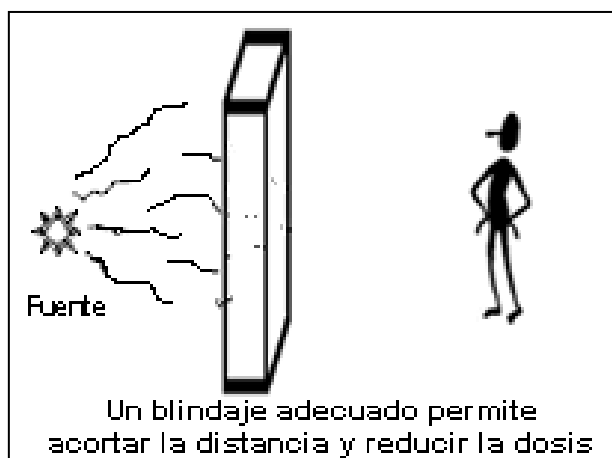


### 8.3.3. - Empleo de blindajes

Un blindaje adecuado permitirá proteger al individuo de los diferentes tipos de radiaciones.

Existen tres tipos de blindajes:

- Blindajes Fijos
- Blindajes Móviles
- Blindajes Personales



En la manipulación y el transporte local del material radiactivo, deben aplicarse las medidas de protección radiológica adecuadas, y utilizar los elementos de protección y de transporte que permitan una operación segura:

- Blindajes (de acuerdo al radionúclido y actividad)
- Carro de transporte
- Pinzas
- Guantes
- Etc.

### **8.3.4. - Empleo de sistemas de control de la concentración en aire**

#### **8.3.4.1. - Sistema de confinamiento**

Todo sistema de confinamiento debe contar con los medios adecuados para poder controlar la ventilación local y general en cada zona, para mantener estanco el sistema y así evitar fugas, que involucre riesgos tanto al operador como para la población.

#### **8.3.4.2. - Sistema de ventilación**

La finalidad de todo sistema de ventilación debe ser:

- Crear condiciones de trabajo confortables.
- Asegurar la renovación continua del aire para diluir y eliminar las sustancias nocivas que lo contaminen.

La ventilación de los laboratorios de radioisótopos debe satisfacer fundamentalmente las mismas condiciones que en los lugares de trabajo y laboratorios químicos normales. Sin embargo, los primeros presentan algunas características, que requieren especial atención.

El aire de ventilación debe pasar una sola vez por la zona de que se trate, y los puntos de entrada y salida del aire deben estar suficientemente separados para impedir toda recirculación. La entrada del aire de ventilación a la zona de trabajo debe ser lo más difusa posible, para que el aire se mezcle bien. En general, bastará efectuar la extracción a través de pequeñas celdas.

La salida del aire a la atmósfera debe estar situada a una altura adecuada y a la distancia de las ventanas practicables.

Cuando se desee ventilar varias zonas de trabajo en un mismo edificio el aire deberá circular de las zonas no activas a las activas.

Deben preverse medios para poder detener el sistema de ventilación en cada una de las zonas de trabajo o en el edificio en conjunto, en el caso de que se produjese un accidente. Los mandos de cierre deben colocarse en lugares fácilmente accesibles.

Todo sistema de ventilación debe ser hermético y bien equilibrado para evitar fallas en el sistema de extracción.

#### **8.3.4.3. - Elementos de protección personal**

Dentro de los elementos de protección personal, para evitar la inhalación de un contaminante, se encuentran:

- Máscaras desechables.
- Máscaras con filtros de una y dos vías.
- Equipos Autónomos.

### 8.3.5. - Empleo de sistemas de control de la contaminación superficial.

Siempre que se trabaja con material radiactivo dispersable, existe una gran probabilidad que una fracción de ese material, aunque sea muy pequeña, contamine el ambiente de trabajo. Aún en los casos donde se emplea una alta tecnología de confinamiento y una técnica de manipulación muy depurada, el riesgo del traspaso de dichos elementos hacia superficies y elementos de trabajo, siempre está presente.

Estos contaminantes pueden incorporarse al organismo humano por vías tales como: la inhalación, la ingestión y la absorción a través de la piel y/o heridas.

Con el objeto de mantener condiciones aceptables para los trabajadores ocupacionalmente expuestos y minimizar las posibles consecuencias accidentales, se utilizan técnicas que permiten detectar y controlar la concentración de radionúclido en superficies.

Para evitar la contaminación de superficies puede seguirse los siguientes métodos:

El método directo, que consiste en utilizar la sonda de un detector de contaminación para explorar la superficie en que se sospeche la existencia de ésta, dando las lecturas así obtenidas una medida directa del grado de contaminación.

El método indirecto, que consiste en monitorear por frotación, es utilizado para detectar niveles de contaminación superficial desprendible muy bajos o para monitorear contaminación en áreas de alta radiación de fondo. Para ello se utiliza un filtro de papel el cual es frotado sobre un área de superficie conocida ( $100 \text{ cm}^2$ ), y luego se cubre con un plástico y la muestra es trasladada a un sistema de medición con una eficiencia conocida.

#### 8.3.5.1. - Intervención en derrames o contaminación

Un accidente radiológico es un suceso anómalo por consecuencia de la pérdida de control sobre una fuente de radiación, que directa o indirectamente, puede entrañar riesgos para la vida o la salud humanas, o bien para las cosas. Semejante accidente o incidente se puede producir en cualquier fase de una operación en la que intervengan fuentes de radiación.

Los accidentes radiológicos pueden corresponder a:

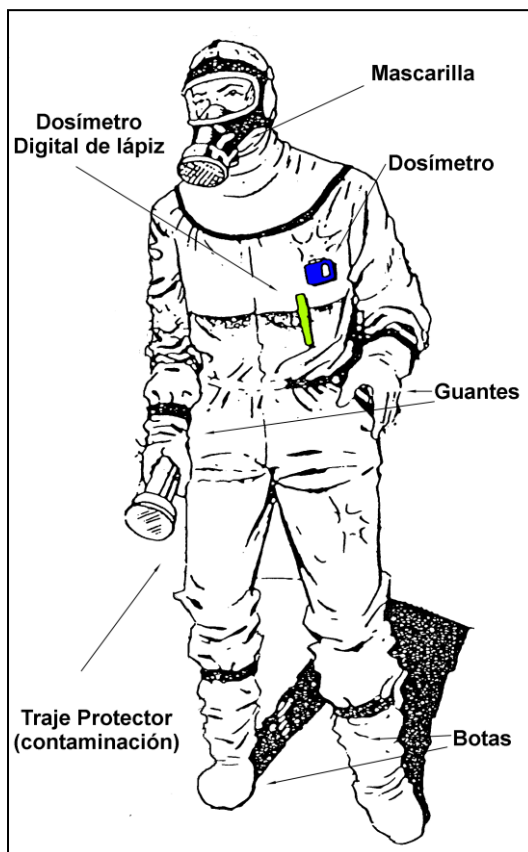
- Dispersión de sustancias radiactivas en el ambiente como consecuencia de una explosión, incendio, choque u otro incidente que ocurra en cualquier lugar, como, por ejemplo, cuando se transportan materiales radiactivos.
- Derramamiento accidental en un lugar de trabajo, dando como consecuencia contaminación de las superficies o del aire en las proximidades, y la contaminación del personal.

En estas situaciones deben considerarse las siguientes medidas a tomar:

- Evitar la zona inmediatamente circundante.
- Notificar inmediatamente al responsable de la seguridad radiológica.
- Localizar y aislar inmediatamente a todas las personas que puedan haber quedado sometidas a altas exposiciones o contaminadas. Disponer de la evaluación inmediata de los dosímetros individuales de cada persona y tomar muestras de líquidos orgánicos como sangre, orina, etc.
- El personal contaminado debe ser descontaminado en forma inmediata.
- Regular el acceso al lugar del accidente o incidente con el fin de reducir al mínimo los riesgos radiológicos.
- Contener la contaminación en el lugar del accidente. En caso de escurrimiento de líquidos es conveniente limpiar inmediatamente.

### 8.3.5.2. - Uso de indumentaria y elementos de protección personal.

El objetivo básico para el uso de la indumentaria y de los elementos de protección es el de prevenir la contaminación de la piel, evitar la inhalación y la ingestión de isótopos radiactivos u otros materiales tóxicos. En algunos casos, el equipo de protección puede ser utilizado para reducir la exposición de partes del cuerpo a las radiaciones ionizantes.



Dependiendo del tipo de trabajo y del material radiactivo que se manipule se utilizan algunos de los siguientes elementos:

- Máscaras (de una o dos vías).
- Guantes (quirúrgicos, plásticos, plomados, etc.)
- Cubrecalzados (de género, plástico, etc.)
- Delantal (desechables, de género, plásticos, plomados)
- Pechera plomada
- Cubrecabezas
- Buzos (género, papel, plástico)
- Equipo autónomo

## 8.4. - MANEJO DE FUENTES RADIATIVAS

### 8.4.1. - Fuentes selladas

Se entenderá por fuentes selladas todo material radiactivo que se encuentre confinado en un recipiente sólido, inoxidable, consistente y estanco, que impida la fuga del material contenido y permita simultáneamente el aprovechamiento de la emisión radiactiva.

Ejemplo: fuente de neutrones, pastilla de Cobalto, etc., o sea todo material radiactivo que por su naturaleza física se constituya en su propio recipiente.

Además debieran reunir las siguientes características:

➤ Resistencia mecánica	➤ Resistencia a la corrosión
➤ Resistencia al calor	➤ Etc

### 8.4.2. - Fuentes no selladas

Se entenderá por fuente no selladas o abierta cualquier material radiactivo en forma líquida, gaseosa o aerosol tal que pueda fácilmente pasar a formar parte del medio ambiente.

En lo posible este tipo de fuentes debe manipularse con un equipo protector. Además se debe tener en cuenta la posibilidad de roturas y derrames, por lo cual es conveniente cubrir la(s) superficies de trabajo con un material que absorba los líquidos derramados accidentalmente.

## 8.5. - VIGILANCIA RADIOLÓGICA

La vigilancia radiológica del ambiente en la zona de trabajo y de las zonas circundantes constituye parte esencial de todo programa eficaz de protección radiológica, para tener la seguridad de que ni el personal operador ni la población en general reciben dosis de radiación superiores a los límites admisibles. La naturaleza y el rigor del programa de vigilancia radiológica del ambiente en una instalación determinada dependerán en gran parte de la circunstancia que se den en cada caso particular.

Cuando se trabaje con fuentes abiertas, se efectuarán inspecciones previas, a objeto de determinar las concentraciones de fondo de los radionúclidos en el ambiente de que se trate.

Según las circunstancias que concurren, el ambiente de la zona de trabajo puede vigilarse por medio de diferentes instrumentos: Detectores fijos, detectores portátiles, detectores de la concentración del aire y detectores de contaminación.

#### Detectores fijos.

Los detectores fijos proporcionan señales visuales o acústicas, de manera que, cuando las radiaciones alcanzan una intensidad determinada, el operador queda inmediatamente enterado.

#### Detectores portátiles.

Un aspecto importante de cualquier programa de seguridad radiológica es la vigilancia regular, tanto de la zona de trabajo, como de las zonas situadas en sus proximidades inmediatas. Con este fin se emplean detectores portátiles que, en general, consisten en cámaras de ionización, contadores Geiger - Muller o detectores de centelleo.

Por lo general, la vigilancia radiológica fuera de las instalaciones se efectúa por métodos ordinarios de muestreo del aire y de los afluentes.

### **8.5.1. - Procedimientos de ingreso, permanencia y salida para personas y equipos**

Deberán existir procedimientos de ingreso y salida de materiales, equipos o partes de estos cuando corresponda, que debe incluir:

- Control radiológico para determinar el grado de contaminación superficial y o nivel de tasa de exposición, según corresponda.
- Registro correspondiente.

### **8.5.2. - Monitoreo personal**

Toda persona al salir de una zona controlada, luego de haber trabajado con material radiactivo o tan solo haber permanecido en ella, deberá realizarse un chequeo que consiste en, monitoreo de contaminación superficial de cuerpo entero.

### **8.5.3. - Monitoreo de áreas**

Cada instalación debe tener claramente indicado el tipo de monitoreo que sea necesario realizar, los que pueden ser:

- a) Monitoreo continuo para controlar:
  - Tasa de dosis equivalente.
  - Concentración de radionúclidos en aire (\*).
  - Niveles de descarga al medio ambiente.

- b) Monitoreo rutinario para controlar:
- Tasa de dosis equivalente.
  - Concentración de radionúclidos en aire (\*).
  - Concentración de radionúclidos en superficie
  - Niveles de descarga al medio ambiente.

(\*) La determinación de la concentración radiactiva en aire tiene una gran importancia, ya que la inhalación, es la vía principal de contaminación interna.

La estimación sirve para planificar la acción radiológica, la que debe ser verificada mediante mediciones, tales como:

### **8.5.3.1. - Tasa de exposición**

La protección radiológica se logra mediante adecuadas previsiones en el diseño y construcción de las fuentes de radiación, mediante una instalación que por su disposición y elementos de protección permitan la operación de la misma con niveles reducidos de exposición y mediante la adopción por parte del personal de hábitos y rutinas acordes con los principios de protección radiológica.

Nunca puede prescindirse de éste último aspecto y por ello la importancia del adecuado entrenamiento del personal, debe preocuparse disminuir en la mayor medida posible la dependencia de la protección de las variables individuales y asegurarlas tanto como sea factible basándose en los requisitos exigidos a la fuente y a la instalación, vale decir, tratar de lograr una protección intrínseca.

### **8.5.3.2. - Concentración de radionúclidos en aire**

La vigilancia radiológica del aire constituye un medio muy útil para asegurar la eficacia de las medidas de precaución adoptadas a objeto de impedir la liberación, indebida de radiactividad, tanto en la zona de trabajo, como en torno a ella. Si se hace pasar aire contaminado a través de un filtro especial, éste retiene la mayor parte de las partículas contaminadas. La radiactividad recogida en el filtro facilita una medida de la contaminación del aire.

### **8.5.3.3. - Contaminación superficial**

Dado el alto riesgo que significa sobre el operador una posible contaminación externa e interna, se hace necesario una vigilancia radiológica de las áreas en forma permanente, de la posible contaminación de las superficies involucradas en el lugar de operación.

Lo anterior se realiza a través de monitoreos directos (instrumento portátil) e indirectos (a través de frotis y análisis cuantitativo, y cualitativo).



#### 8.5.4. - Elementos de para efectuar la vigilancia radiológica

Debido a que la radiación ionizante no puede ser percibido en forma sensorial, se requiere determinar su presencia mediante el empleo de instrumentos adecuados. Todo trabajo con fuentes de radiación o sustancias radiactivas puede dar lugar a exposición externa o contaminación interna del personal. Se puede producir exposición externa cuando se trabaja con equipos de rayos X, aceleradores, material radiactivo, etc. A su vez se puede producir contaminación interna al manipular con fuentes selladas que hayan sufrido desperfecto o con fuentes abiertas de sustancias radiactivas.

##### **Finalidad de las mediciones.**

- Medir la radiación externa.
- Muestrear la contaminación del aire.
- Examinar la contaminación superficial.

##### **Características que deben reunir los instrumentos.**

- Sensibilidad y rango de trabajo.
- Respuesta en el tiempo.
- Volumen efectivo definido.
- Dependencia de energía conocida.
- Discriminación en el tipo de radiación.
- Resistencia a condiciones climáticas.
- Resistencia al uso diario.
- Dependencia direccional conocida.
- Reemplazo de baterías.
- Fallas hacia la seguridad.
- Tamaño, peso, volumen reducido.
- En lo posible portátil.

##### **Instrumentos más utilizados.**

- CONTADOR GEIGER - MULLER.
- CÁMARA DE IONIZACIÓN.
- CONTADOR PROPORCIONAL.
- CONTADOR DE CENTELLEO

#### 8.5.5. - Control de Desechos y Efluentes Radiactivos

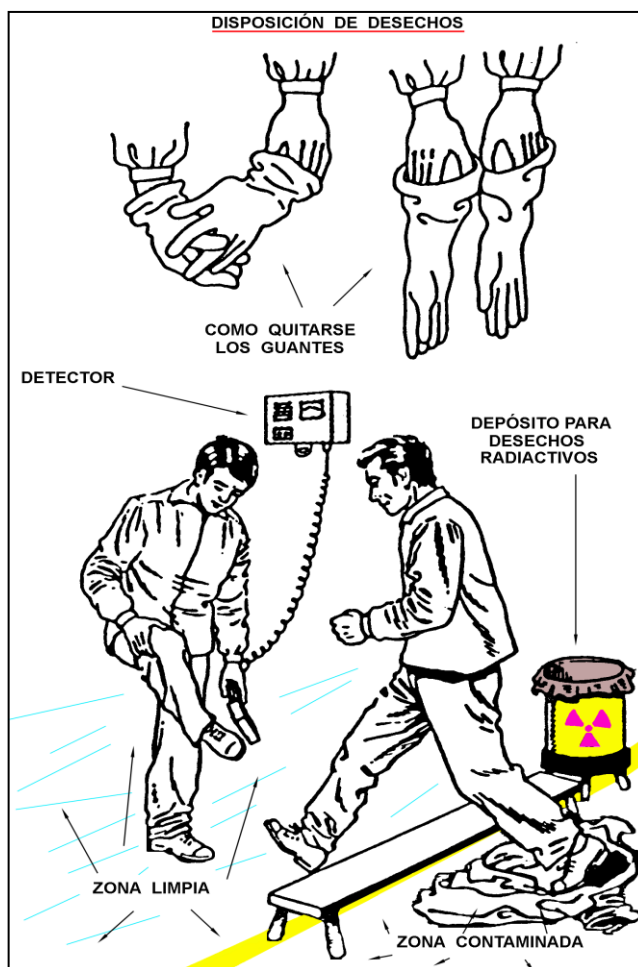
La evacuación de desechos radiactivos en el medio ambiente se basa en dos conceptos:

- Concentrar y contener.
- Diluir y dispersar.

En el último caso es importante evaluar de antemano cuidadosamente la capacidad del ambiente para admitir la cantidad de radiactividad liberada, y basar las evacuaciones que se realicen en esos cálculos.

Se deberá considerar para los residuos radiactivos que genera una determinada instalación, lo siguiente:

- ▶ Residuos Radiactivos Sólidos.
  - Recolección de los residuos.
  - Embalaje.
  - Etiquetado.
  - Lugar de almacenamiento.
  - Forma de traslado a un depósito autorizado.
- ▶ Residuos Radiactivos Líquidos y Gaseosos.
  - Tipo de tratamiento.
  - Lugar de descarga.
  - Evaluación del nivel de descarga al medio ambiente.



## 8.6. - TRANSFERENCIA DE FUENTES RADIATIVAS

Se deberá considerar para la transferencia de fuentes radiactivas, lo siguiente:

- ▶ Un buen sistema de transporte (interno).
- ▶ Debe ser lo suficientemente seguro para evitar derrames o caídas:
  - Carro de transporte.
  - Canastilla portátil.
  - Bandejas.
  - Contenedores cerrados.
- ▶ Si es de alta actividad deberá ser blindada.
- ▶ Este debe ser planificado con antelación (factor TIEMPO).
- ▶ Cada transferencia además debe ser registrada.

## 8.7. - DOSIMETRIA PERSONAL

La vigilancia individual, en el caso de la radiación externa, proporciona los datos necesarios para estimar las dosis equivalentes recibidas en todo el cuerpo, en la piel o en las extremidades. En el curso de ésta vigilancia radiológica, se puede determinar también el tipo y la calidad de la radiación que afecta al trabajador. De estos datos pueden deducirse las eventuales variaciones debidas a cambios de las condiciones de trabajos. Así pues, los datos sirven para estimar las dosis equivalentes y pueden también servir para Indicar la necesidad de modificar las técnicas o procedimientos de trabajo.

### 8.7.1. - Tipos de Dosímetros

- ▶ Dosímetro de película fotográfica.
- ▶ Dosímetros de lapiceros (de lectura directa).
- ▶ Dosímetros digitales (de lectura directa).
- ▶ Dosímetros de termoluminiscencia (TLD).

### 8.7.2. - Características del control dosimétrico

Para evaluar las dosis equivalentes recibidas se emplean uno o más dosímetros individuales que la persona expuesta lleva siempre puestos mientras está trabajando. En algunos casos, Por ejemplo en las zonas de elevadas tasas de dosis equivalente conviene utilizar dosímetros que permitan una lectura y/o advertencia inmediata.

La duración del período para el que se entregue cada dosímetro se decidirá teniendo en cuenta las dosis equivalentes previstas, y también si el dosímetro empleado permite la lectura inmediata o requiere de un tratamiento especial.

Los dosímetros han de llevarse siempre en una posición que facilite una medición representativa de las dosis equivalentes máximas en las partes del cuerpo expuestas. En muchos casos puede ser suficiente que la persona lleve un solo dosímetro en el tronco. Cuando un campo de radiación no sea uniforme y las dosis equivalentes se acerquen a los límites autorizados, puede resultar necesario llevar varios dosímetros en varios puntos del cuerpo para facilitar una estimación correcta de la dosis equivalente.



## 8.8. - VIGILANCIA MÉDICA RADIOLÓGICA

La vigilancia médica debe encararse según los principios de la medicina ocupacional. Comprende un examen preocupacional y exámenes de rutina con el objeto de evaluar la salud del trabajador, determinar su grado de aptitud psicofísica para la tarea que le será asignada y permite acumular información útil en caso de accidente o enfermedad profesional.

Sin embargo debe advertirse claramente que los exámenes médicos de rutina no constituyen un modo de evaluar las condiciones de radioprotección de los operadores. Ello se debe a que los límites de dosis están muy por debajo de las dosis que se requieren para producir manifestaciones clínicas en el corto plazo.

### 8.8.1. - Tipos de bioensayos y su finalidad

#### TIPOS

- ▶ Exámenes de Orina.
- ▶ Exámenes de Fecas.
- ▶ Exámenes de Sangre.
- ▶ Exámenes de Saliva.
- ▶ Exámenes de Soplado (mucosas).

#### Otros controles:

- ▶ Contador de todo el cuerpo.
- ▶ Medición de tiroides.

#### FINALIDAD

Controlar las dosis por contaminación interna que se han absorbido, por manejo de fuentes abiertas, tales como Líquidas y Gaseosas.

### 8.8.2. - Medición de la contaminación interna

Siempre que se trabaja con material radiactivo, una fracción de ese material se incorpora al ambiente. Aún en los casos donde se utiliza una alta tecnología de confinamiento como ocurre en la industria nuclear, no es posible eliminar completamente el escape de contaminantes radiactivos hacia los ambientes de trabajo. Esos contaminantes se incorporan al hombre a través de diversas vías tales como la inhalación, la ingestión y la absorción a través de la piel. En general, la inhalación es la vía más importante por la cual las partículas suspendidas en el aire se incorporan al cuerpo humano.

## 8.9. - CONDICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD QUE DEBEN CONTEMPLAR LAS INSTALACIONES

### 8.9.1. - Radiodiagnóstico medico

#### ❖ Seguridad del equipo:

- ▶ Filtros adecuados
- ▶ Colimadores de haz de radiación en buen estado
- ▶ Empalme eléctrico en buenas condiciones
- ▶ Bandas colgantes en buen estado
- ▶ Placa de identificación del tubo generador: n° de serie, marca y modelo
- ▶ Mantenciones y calibraciones

❖ Seguridad de la sala:

- ▶ Iluminación, ventilación y piso en buen estado
- ▶ Blindaje apropiado en muros y puertas
- ▶ Caseta de disparo ó biombo plomado, con una ventana de cristal de Pb equivalente
- ▶ Disponer de delantales plomados, guantes plomados y protección gonadal para niños (cantidades de acuerdo a las necesidades del servicio y del personal).
- ▶ Control disimétrico a todo el personal expuesto
- ▶ Sala de espera y baño para los pacientes
- ▶ Panel de control debe tener claramente los KVP, mAmp. y tiempo de exposición utilizados
- ▶ Cuarto de revelado en buenas condiciones (señalizado y luz roja de acceso; con sistema de renovación de aire; sin filtraciones de luz)
- ▶ Vestidores de acuerdo a flujo y tipo de pacientes.
- ▶ No se permitirá el uso de dos ó más equipos de rayos-x en una misma sala, con disparador independiente, a menos que quede establecido por procedimientos el funcionamiento de ellos.

❖ Señalizaciones:

- ▶ Sala de Rayos-X (dental, mamógrafo, scanner)
- ▶ Símbolo internacional de Radiación.
- ▶ Acceso restringido
- ▶ Luz roja indicadora en puerta de acceso a la sala
- ▶ Leyenda que informe acerca de los riesgos de la radiación para embarazadas.
- ▶ Señalizar cada sala (de rayos, revelado, vestidores) con codificación interna.

❖ Antecedentes con que debe contar la instalación:

- ▶ Autorizaciones de funcionamiento de los equipos
- ▶ Licencias de operación vigentes, de todo el personal que opere los equipos generadores de Rx.
- ▶ Especificaciones técnicas del equipo
- ▶ Plano de planta distribucional de las Salas de Rayos (indicando lugares colindantes, dimensiones y partes blindadas)
- ▶ Memoria de Diseño y Cálculo de blindajes (Informe del cálculo de determinación de blindajes en paredes, puertas, biombo y/o caseta de disparo).
- ▶ Procedimiento de operación (Este procedimiento deberá involucrar un protocolo de operación de la instalación en cuanto a definición de responsabilidades (Encargado de protección radiológica y personal autorizado para la operación de equipos), toma de radiografías, horario de funcionamiento, atención proyectada, técnicas radiográficas, protección radiológica operacional, mantenimiento de los equipos y situaciones de emergencia).
- ▶ Informes dosimétricos de todo el personal profesionalmente expuesto.

## 8.9.2. - Laboratorios de baja radiotoxicidad (Medicina nuclear - R.I.A - Fraccionamiento - Investigación)

### ❖ Seguridad de la Instalación:

- ▶ Sus dependencias deben estar independientes de toda consulta
- ▶ Sala de espera de uso exclusivo de pacientes (Medicina Nuclear).
- ▶ Vestidor y baño de uso exclusivo de pacientes (Medicina Nuclear)
- ▶ Iluminación, ventilación y piso en buen estado
- ▶ Toda la instalación debe estar debidamente blindada en puertas y muro.
- ▶ Disponer de un lugar protegido de la radiación para el personal que deba permanecer junto a pacientes inyectados con material radiactivo.
- ▶ Disponer de delantales y guantes plomados, en cantidad acorde al personal expuesto.
- ▶ Control dosimétrico a todo el personal expuesto (examen de orina sí se trabaja con Yodo radiactivo).
- ▶ Canastillo de ladrillo baritado y/o con blindaje de plomo y con pantalla de Pb equivalente que proteja al operador.
- ▶ Receptáculo de desechos radiactivos (sólidos y líquidos), debidamente señalizados.
- ▶ Detector de radiación (Con su certificado de calibración vigente)
- ▶ Equipo de dosificación con su calibración vigente.
- ▶ Celda de dosificación y/o fraccionamiento con campana de extracción forzada con filtro de carbón activado
- ▶ Las superficies del piso, paredes, mesas de trabajo y áreas de lavado de instrumentación deben estar construidas de materiales sólidos, impermeables y con el menor número de esquinas y ranuras para facilitar su limpieza.
- ▶ Contar con materiales para descontaminación.
- ▶ Todas las dependencias deben estar claramente señalizadas y/o demarcadas

### ❖ Señalizaciones:

- ▶ Debe estar debidamente señalizada su puerta de acceso a la sala con las siguientes leyendas:
  - Laboratorio de .....
  - Peligro de Radiación y Contaminación.
  - Luz roja indicadora en puerta de acceso a la sala
  - Acceso restringido
  - Símbolo internacional de Radiación.
- ▶ Leyenda que informe acerca de los riesgos de la radiación para embarazadas
- ▶ Señalizar cada sala con codificación interna.

- ❖ Antecedentes con que debe contar la instalación:
  - ▶ Autorizaciones de funcionamiento de la instalación
  - ▶ Licencias de operación vigentes, de todo el personal que manipule sustancias radiactivas.
  - ▶ Especificaciones técnicas de los equipos de diagnóstico y de monitoreo.
  - ▶ Especificaciones técnicas de los materiales radiactivos a utilizar (hojas de seguridad).
  - ▶ Memoria explicativa del tipo de examen que realiza, indicando el sistema de descontaminación y evacuación de los desechos radiactivos.
  - ▶ Plano de planta distribucional de las Salas (indicando lugares colindantes, dimensiones y partes blindadas)
  - ▶ Memoria de Diseño y Cálculo de blindajes (Informe del cálculo de determinación de blindajes en paredes, puertas, protecciones, biombo y/o caseta de seguridad).
  - ▶ Procedimiento de operación (Este procedimiento deberá involucrar un protocolo de operación de la instalación en cuanto a definición de responsabilidades (Encargado de protección radiológica y personal autorizado), las labores que se realizan, horario de funcionamiento, atención proyectada, técnicas utilizadas, formularios de control y cartillas informativas a pacientes, protección radiológica operacional, mantenimiento y calibración de equipos, gestión de desechos radiactivos y análisis de seguridad).
  - ▶ Informes dosimétricos de todo el personal profesionalmente expuesto.
  - ▶ Informes de exámenes de orina del personal expuesto a Yodo radiactivo



## CUESTIONARIO

### **Tema: Protección radiológica operacional**

1. ¿Cuál es el objetivo de la protección radiológica?
2. ¿Cómo se alcanza dicho objetivo?
3. Cuales son los métodos de protección radiológica
4. Aplique los conocimientos adquiridos para diseñar y programar su trabajo en relación al manejo de equipos emisores de radiación ionizante.
5. Indique cuál es la importancia de la vigilancia radiológica
6. Explique la importancia de la dosimetría
7. Indique las condiciones para el uso adecuado del dosímetro
8. Cualquier elemento sirve para atenuar los diferentes tipos de radiaciones?. Explique

## **CAPÍTULO IX. –**

### **GESTIÓN DE DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS**

#### **9.1. INTRODUCCIÓN**

La gestión de los desechos nucleares y radiactivos comprende, según el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), el conjunto de actividades técnicas y administrativas necesarias para el manejo, tratamiento, almacenamiento temporal y definitivo de los mismos, bajo un sistema de vigilancia y control, efectivos.

El objetivo de estos controles, es garantizar que los desechos nucleares y radiactivos no se dispersarán en el medio ambiente, de forma que la radiactividad que contengan pueda suponer un riesgo para la población.

#### **9.2. ORIGEN DE LOS DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS**

Los desechos nucleares y radiactivos provienen de los siguientes procesos o actividades realizadas por el hombre:

- Minería y tratamiento del mineral de Uranio.
- Enriquecimiento y fabricación de combustible nuclear.
- Operación de reactores nucleares para la producción de energía eléctrica.
- Combustible irradiado.
- Utilización de reactores de investigación.
- Aplicaciones de los radioisótopos.
- Desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas.
- Otros casos especiales y desechos mixtos.

#### **9.3. TIPIFICACIÓN DE LOS DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS**

Los desechos se clasifican en función de distintos criterios: su origen, por su forma física (sólido, líquido o gaseoso), por sus niveles de radiactividad, por larga o corta semivida de los isótopos radiactivos que contienen, por la intensidad de las radiaciones ionizantes que emiten, por sus requerimientos de almacenamiento o por su radiotoxicidad.

Los países miembros del OIEA, pueden aplicar diferentes criterios de tipificación para los desechos, pero existen dos (2) que tienen una importancia primordial, estos son: semivida de los desechos y su actividad, ver tabla N° 9.1

## 9.4. CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS

TABLA Nº 9.1

CATEGORÍA.	ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	RADIOTOXICIDAD.	GENERACIÓN DE CALOR.
	BETA-GAMMA.	ALFA.		
A.A. LARGA VIDA.	ALTA.	SIGNIFICATIVA.	ALTA.	ALTA.
M.A. LARGA VIDA.	MEDIA.	SIGNIFICATIVA.	MEDIA.	BAJA.
B.A. LARGA VIDA.	BAJA.	SIGNIFICATIVA.	MEDIA/BAJA	INSIGNIFICANTE.
M.A. CORTA VIDA.	MEDIA.	INSIGNIFICANTE.	MEDIA.	BAJA.
B.A. CORTA VIDA.	BAJA.	INSIGNIFICANTE.	BAJA.	INSIGNIFICANTE.

### OBSERVACIONES:

- Las características son cualitativas y pueden variar en algunos casos.
- Insignificante: Significa que la característica puede, generalmente, ser ignorada para fines de almacenamiento.
- A.A, significa Alta Actividad.
- M.A, significa Media Actividad.
- B.A, significa Baja Actividad.

## 9.5. TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS

### 9.5.1. Tratamiento Nº 1

Una adecuada gestión de los desechos (tratamiento Nº 1), empieza en la instalación donde se producen, en consecuencia, es conveniente proceder de la siguiente forma:

- Separar los desechos de acuerdo a sus características, es decir:
- Semi-vida de los isótopos radiactivos.
- Composición química.
- Componentes orgánicos.
- Componentes metálicos o biodegradables.

### 9.5.2. Tratamiento Nº 2

Siempre que sea posible:

- Reducir el tamaño en origen para facilitar la gestión. (esto es particularmente importante cuando se trata del desmantelamiento de instalaciones)

### 9.5.3. Tratamiento Nº 3

Siempre que sea posible:

- Descontaminar en la instalación. (este es un medio que permite disminuir la cantidad de ciertos tipos de desechos (por ejemplo metálicos), que deban retirarse.

#### 9.5.4. Tratamiento N° 4

Recolección de los desechos:

- En función de su naturaleza
- Composición química
- Composición radioquímica

Esta tarea puede ser realizada en diferentes tipos de colectores móviles, lo que facilita el transporte en el interior de la propia instalación que los produce y el almacenamiento temporal hasta que puedan ser evacuados.

En general, los desechos nucleares y radiactivos han de someterse a algún proceso de tratamiento y acondicionamiento tal, que puedan ser almacenados en condiciones seguras.

#### 9.6. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS

Se presenta el tratamiento para desechos Sólidos, Líquidos y Gaseosos, a saber:

<b>Desechos Sólidos</b>	<b>Desechos Líquidos</b>	<b>Desechos Gaseosos</b>
Incineración	Tratamiento químico	Sistemas de ventilación
Compactación	Decaimiento	Dispersión

#### 9.7. ACONDICIONAMIENTO DE LOS DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS

El objetivo de un proceso de acondicionamiento, es convertir el desecho en una forma sólida muy difícilmente soluble y de gran estabilidad mecánica.

En la selección del proceso de acondicionamiento, debe tenerse en cuenta la compatibilidad del desecho con la matriz en que se acondicionará, y la de esa matriz con las condiciones ambientales del futuro emplazamiento donde se almacenará.

##### 9.7.1. Combustible irradiado

Cuando el combustible irradiado no se somete a reelaboración, no se generan desechos líquidos de alta actividad.

El acondicionamiento del combustible considerado como desecho, suele consistir en un reagrupamiento de las varillas que lo componen en una estructura más compacta, es decir, en una compactación o consolidación del combustible, seguido de su

encapsulamiento con barreras múltiples (Cobre, Plomo, Absorbente neutrónico), y su introducción en contenedores adecuados.

### **9.7.2. Desechos de Alta Actividad. (acondicionamiento N° 1)**

La vitrificación es el proceso de referencia para el acondicionamiento de los desechos de Alta Actividad. Este tipo de desechos. Generalmente líquidos procedentes de la reelaboración de combustibles irradiados, se incorporan a una matriz de vidrio Borosilicatado, a una temperatura cercana a los 1100 °C, en un proceso que puede realizarse en una sola etapa inyectando el residuo en un baño de vidrio fundido, aunque también es posible realizar el proceso en dos etapas, calcinando primero el residuo e incorporándolo después al vidrio.

### **9.7.3. Desechos de Alta Actividad (acondicionamiento N° 2).**

Un proceso alternativo al anterior, es transformar el residuo en una roca de estructura muy similar a de minerales naturales.

La razón de este proceso es que algunos minerales naturales han demostrado su estabilidad durante períodos de tiempo geológicos. No obstante, el proceso no ha alcanzado aún su madurez tecnológica, aunque en el futuro puede llegar a ser una alternativa conveniente como proceso de vitrificación.

### **9.7.4. Desechos de Media y Baja Actividad**

Uno de los procedimientos más usados para el acondicionamiento de este tipo de desechos, es su incorporación a matrices de hormigón.

En la actualidad, se están empleando hormigones de especial resistencia para el acondicionamiento de residuos con emisores alfa, o para los que van a ser depositados en almacenamiento geológico.

Otro material que puede ser utilizado como matriz para residuos de muy baja emisión calórica, es el asfalto u otros materiales bituminosos, aunque su utilización tiene restricciones para su uso con residuos que contengan componentes fuertemente oxidantes, biodegradables y sales solubles.

## **9.8. TRANSPORTE DE DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS**

Si los desechos acondicionados o no, han de someterse a un transporte (hasta / desde la instalación de acondicionamiento y hasta la instalación de almacenamiento), los embalajes o contenedores donde sean transportados deben cumplir todos los requisitos establecidos en el Reglamento de Transporte N° 12 de 1984 del Ministerio de Minería.

La seguridad del transporte de materiales nucleares y radiactivos, se basa fundamentalmente en la seguridad de los bultos de transporte, y ésta se garantiza a su vez, por el diseño y la superación de las pruebas establecidas en las regulaciones de

transporte: Impacto, caída, ensayo térmico, de inmersión, etc, correspondientes a los distintos tipos de bultos.

### **9.9. ALMACENAMIENTO DE DESECHOS NUCLEARES Y RADIATIVOS**

Procedimiento que se realiza en tres fases, a saber:

- Almacenamiento transitorio.
- Almacenamiento temporal
- Almacenamiento definitivo

## CUESTIONARIO

### **Tema: Gestión de desechos radiactivos**

1. ¿Qué se entiende por desechos Radiactivos?
2. ¿Cuándo se podría considerar un desecho radiactivo inocuo? Explique.
3. ¿Cuál es el objetivo de la vigilancia y control de los Desechos Radiactivos?
4. ¿Indique a lo menos 8 actividades o procesos en los cuales se generen o produzcan desechos radiactivos?
5. ¿Expliqué como se clasifican los desechos radiactivos e indique algún ejemplo de cada uno de ello?
6. ¿Cuáles son los métodos de tratamiento de los desechos radiactivos?
7. ¿Indique el procedimiento de almacenamiento de los desechos radiactivos generados en nuestro país?

## CAPÍTULO X. –

### LEGISLACIÓN NUCLEAR EN CHILE

#### 10.1. LEY DE SEGURIDAD NUCLEAR, (Ley Nº 18.302. D.O. del 02.05.84)

La Ley de Seguridad Nuclear, como su nombre lo indica, está principalmente dedicada a proveer un marco legal que regule las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear. En lo que respecta a instalaciones radiactivas, esta ley especifica lo siguiente:

##### 10.1.1. DE LA AUTORIDAD REGULADORA

Se establece que el objeto de la ley es el de **“proveer a la protección de la salud, la seguridad y el resguardo de las personas, los bienes y el medio ambiente”**.

##### 10.1.2. DEFINICIONES

Establece el significado de, entre otros términos, tales como: **radiaciones ionizantes, material radiactivo, desechos radiactivos e instalación radiactiva**.

##### 10.1.3. DE LAS INFRACCIONES DE LAS NORMAS LEGALES Y REGLAMENTARIAS SOBRE SEGURIDAD NUCLEAR Y RADIOLÓGICA

Se establece la competencia de la **“Comisión”** para conocer y juzgar las infracciones a las normas de seguridad nuclear y radiológica.

##### 10.1.4. DE LA RESPONSABILIDAD CIVIL POR DAÑOS NUCLEARES.

Es aplicable sólo a las instalaciones nucleares.

##### 10.1.5. DE LAS INSTALACIONES RADIATIVAS

Consta de un solo artículo, cuya principal disposición consistía en la designación de los **Servicios de Salud** como **Autoridad Competente** de todas las **Instalaciones Radiactivas**, con excepción de aquellas que se encontraran ubicadas dentro de una instalación nuclear.

#### 10.2. ALCANCES DE LA LEY Nº 18.730, (D.O. del 10.08.88)

Modifica el título VI de la Ley 18.302 estableciendo, en un artículo único que reemplaza al artículo 67 de dicha Ley, la competencia de dos entidades, respecto de las instalaciones radiactivas. En lo medular:

- Señala que es la Comisión Chilena de Energía Nuclear (**en adelante CCHEN**), **“el organismo encargado de dictar las normas referentes a las instalaciones radiactivas”**.
- Establece, que corresponde a los **Servicios de Salud (en adelante MINSAL)**, conforme a las disposiciones del **Código Sanitario**, la



autorización y el control respecto de las instalaciones radiactivas.

- Establece, por excepción, que compete a la **CCHEN** la autorización, el control y la prevención de riesgos de aquellas que se encuentren dentro de una instalación nuclear y de la que, “**conforme al reglamento**”, sean declaradas de 1ª Categoría.
- Determina que los reglamentos de **Protección Radiológica** y de **Autorizaciones** serán firmados conjuntamente por **los Ministerios de Minería y de Salud**.

### 10.3. AUTORIDADES COMPETENTES

En resumen, la competencia sobre las radiaciones ionizantes, sus usos e instalaciones asociadas, de acuerdo a la legislación vigente en Chile, está dividida de la siguiente manera:

#### 10.3.1. COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR

Para:

- Instalaciones Nucleares.
- Instalaciones Radiactivas de 1ª Categoría.

#### 10.3.2. SERVICIOS DE SALUD REGIONALES Y SESMA (MINSAL)

Para:

- Instalaciones Radiactivas de 2ª Categoría.
- Instalaciones Radiactivas de 3ª Categoría.

### 10.4. REGLAMENTACIÓN

#### 10.4.1. DECRETO SUPREMO Nº 133, 22 de mayo de 1984

**“Reglamento sobre Autorizaciones para Instalaciones Radiactivas o Equipos Generadores de Radiaciones Ionizantes, personal que se desempeña en ellas u opere tales equipos y otras actividades afines.”**

Este Reglamento establece la necesidad de contar con una Autorización previa al desarrollo de actividades relacionadas con instalaciones radiactivas, los equipos generadores de radiaciones ionizantes y el uso de sustancias radiactivas. Estas Autorizaciones corresponden a:

- a) el funcionamiento de instalaciones y equipos emisores de radiación ionizante;
- b) utilización, manipulación u operación con sustancias radiactivas;
- c) su importación, exportación, venta, distribución y almacenamiento, y
- d) su abandono o desecho.

En lo principal, este reglamento establece lo siguiente:

CLASIFICACIÓN DE INSTALACIONES RADIATIVAS (CATEGORÍAS)		AUTORIZACIONES PARA:
Nº	Tipos	
1 <sup>a</sup>	Aceleradores de partículas. Plantas de irradiación. Laboratorios de alta radiotoxicidad. Radioterapia y roentgenterapia profunda. Gammagrafía y radiografía industrial.	Construcción Operación. Cierre definitivo.
2 <sup>a</sup>	Laboratorios de baja radiotoxicidad. Rayos-X para diagnóstico. Radioterapia y roentgenterapia superficial.	Operación. Cierre definitivo.
3 <sup>a</sup>	Equipos con fuente sellada de uso industrial. Fuentes patrones. Marcadores o simuladores de uso médico. Estimuladores cardíacos radioisotópicos. Rayos-X, para control de equipaje o correspondencia. Equipos de fluoroscopia industrial. Difractómetros.	Operación

---

**AUTORIZACIONES PARA OTRAS ACTIVIDADES AFINES.**

---

- Importación.
  - Exportación
  - Transferencia.
  - Almacenamiento.
  - Abandono o desecho.
- 

**AUTORIZACIONES PARA PERSONAS.**

Personal	Requerimientos
de todas las categorías: Que opere equipos generadores de radiaciones ionizantes o manipule sustancias radiactivas	Licencia Secundaria. Curso de Protección Radiológica

---

**10.4.2. DECRETO SUPREMO Nº 3/85, 25 de abril de 1985  
"Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas".**

Este Reglamento establece las condiciones mínimas de protección radiológica que han de ser cumplidas para explotar una instalación radiactiva y, por tanto, la manipulación de materiales radiactivos involucrados, en forma segura. Determina:

- a) la excepción del control reglamentario para radiaciones ionizantes naturales y de carácter médico;
- b) la competencia de los Servicios de Salud, en la fiscalización y del Instituto de Salud Pública, como laboratorio nacional y de referencia;
- c) la obligatoriedad de la dosimetría personal, las condiciones en que deberán prestarse los servicios de dosimetría y los requisitos que han de cumplir los organismos que los prestan.
- d) Los límites de dosis para los trabajadores expuestos, exceptuando a mujeres y menores de 18 años, casos especiales de control y límites especiales por sobreexposición, y
- e) La obligatoriedad de utilizar la señalización de radiación ionizante (**trisector**).

En lo principal, este reglamento establece lo siguiente:

---

### **DEFINICIONES.**

---

Personas ocupacionalmente expuestas.  
 Dosimetría personal.

---

### **AUTORIDADES COMPETENTES.**

---

**Servicios de Salud:** Todas las Categorías.

---

### **LÍMITES DE DOSIS.**

---

**Límite anual de Dosis Equivalente:**

**Órgano expuesto: Trabajador expuesto (Rem).**

Cuerpo entero, gónadas y médula ósea	: 5
Cristalino	: 30
Otro órgano individual	: 50

**Excepciones:**

Mujer embarazada	: 0,5.
Menores de 18 años	: 0
Mujer en edad de procrear	: 1,25.

---

## CUESTIONARIO

### Tema: Legislación Nuclear Chilena

1. ¿Cuáles son los límites anuales para los trabajadores expuestos?
2. ¿Quiénes son las autoridades competentes para otorgar las autorizaciones de las instalaciones radiactivas y las personas que se desempeñan en ellas?
3. ¿Cuales son los requisitos que deben cumplir los trabajadores para ser autorizados para operar equipos generadores de radiación y/o manipular sustancias radiactivas?
4. ¿Cuál es la vigencia de autorización anterior? ¿Por qué?
5. ¿Cuál es la normativa que ud. debiera conocer en el tema de radiaciones ionizantes?

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Apuntes de Curso de Protección Radiológica, Cursos SESMA, años 1998 al 2002.
2. Apuntes de Curso de Protección Radiológica, Cursos CCHEN.
3. Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Colección Seguridad N° 115, Viena 1997.
4. ICRP N° 26 y 60, Normas Básicas Internacionales de Seguridad.
5. Curso Regional sobre control de descargas y monitoreo ambiental de Material Radiactivo asociado a Prácticas Médicas e Industriales. RLA/9/030, Santiago Chile, 2000
6. Naciones Unidas. La Radiación Ionizante: Fuentes y Efectos Biológicos. Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas. Informe a la Asamblea General y Anexos, UNSCEAR, 1982. Publicación de las Naciones Unidas N° S.82.IX.8 Nueva York, 1985.
7. Partículas Subatómicas. Steven Weinberg. Editorial Losada, 1985.
8. El Cuaderno de la Energía. García Alonso. Forum Atómico Español, 1989.
9. Procedimiento de Protección Radiológica, Colección Seguridad N°. 38, 1974.
10. Normas de Protección Radiológica y sus Aplicaciones. Autor Dr. Dan J. Beninson, Bs. As. Argentina, 1992.
11. Respirators and Protective Clothing. Safety Series N°. 22, 1967.
12. Manual Básico de Protección Radiológica. Vol. N° 1. Organización Panamericana de la Salud, 1981.
13. Requisitos Fundamentales para la Vigilancia Radiológica Individual. Colección Seguridad N°. 14, 1981.
14. Radiological Health Handbook.
15. ICRP N° 38. OIEA.
16. Manuales de equipos de Rayos-X.
17. Cálculo de Blindaje, Rockwell.
18. Radiological Health Handbook.
19. Informes de Seguridad. Colección Seguridad OIEA, Viena 1997.