

**DOCUMENTO ORIGINAL EN MAL ESTADO**

## **CAPITULO I**

# **RADIACION NATURAL Y ARTIFICIAL**

## CAPITULO I RADIACION NATURAL Y ARTIFICIAL

### INTRODUCCION

En la naturaleza hay ciertos elementos eléctricamente inestables, por lo tanto pueden emitir espontáneamente partículas o radiación, modificando la naturaleza o el estado de los núcleos de los átomos. Este proceso de emisión se llama desintegración radiactiva y el fenómeno radiactividad.

La radiactividad fue descubierta en 1895 por Henry Becquerel, al observar que una sal de uranio emitía espontáneamente radiaciones, que impresionaron débilmente una placa fotográfica. Posteriormente se observó que estas radiaciones eran, al igual que los rayos x, capaces de ionizar. Más adelante, Rutherford y Villard, encontraron que estas radiaciones están formadas por:

**Partículas a:** Se originan en el núcleo de átomos radiactivos con número atómico mayor de 200. Estas partículas están constituidas por un grupo de dos protones y dos neutrones, que totalizan un número másico de 4 y son estructuralmente idénticas al núcleo de un átomo de helio.

Son partículas con carga eléctrica +2 lo que las hace altamente ionizantes, no obstante por su tamaño y su gran interacción no son muy penetrantes.

**Partículas b:** Son electrones expulsados por el núcleo de los átomos radiactivos durante su desintegración. Pueden ser de carga eléctrica positiva o negativa, dependiendo de las reacciones nucleares producidas en el átomo. Tienen un poder de penetración mayor que las alfa aunque despreciables en comparación con los rayos X o t.

**Rayos t:** Son emisiones electromagnéticas que se dan cuando un núcleo radiactivo en un estado excitado pasa a otro de menor energía o al estado fundamental. Por su misma naturaleza son altamente penetrantes no son desviados por campos electromagnéticos como los dos casos anteriores, la ionización la producen en forma indirecta al chocar con los átomos. Todo radionucleido que emite radiación gamma, lo hace con una energía específica y propia de éste.

Antes de los descubrimientos de Rutherford y Villard, Madame Curie, observó que la pechblenda es a igualdad de masa, cuatro veces más activa que una sal de uranio; después de ingentes esfuerzos, logró separar dos nuevos elementos, el polonio (Po) y el radio (Ra).

La desintegración radiactiva responde a leyes estadísticas y sus propiedades son independientes de cualquier influencia del entorno, como presión, temperatura, campos eléctricos o magnéticos y reacciones químicas.

Se denomina radiactividad natural, al proceso en el cual, átomos inestables, cambian en otros elementos, en forma espontánea, como el caso del radio, uranio, etc. Así como la radiación proveniente del espacio (Background).

El desarrollo científico y Tecnológico que ha experimentado el hombre, en el último siglo, le ha permitido crear en laboratorios, radionucleidos, que ya no existen en la naturaleza, tal es el caso de Pu-239, Co-60, X-137, I-125, etc.

Este fenómeno ya bastante desarrollado en nuestros días, ha beneficiado a la sociedad, en muchos campos, como la agricultura, la industria, la medicina, etc. Por tanto los beneficios son indiscutibles, no obstante los riesgos asociados también son grandes, como se verá en los próximos capítulos.

## **CAPITULO II**

# **INTERACCION RADLACION MATERIA**

## CAPITULO II INTERACCION RADIACION MATERIA

### INTRODUCCION

Las radiaciones producidas en los procesos de decaimiento radiactivos, o en las reacciones nucleares, están constituidas por partículas (electrones, protones, neutrones, partículas alfa) y por radiación electromagnética (rayos x y gamma). Su estudio es necesario tanto en un sentido teórico como también práctico, dada la extraordinaria importancia que presentan estos fenómenos en una gran variedad de actividades; como son la Industria, Medicina, Agricultura, etc.

La radiación puede analizarse en base a los efectos que produce al atravesar la materia, efectos que dependen del tipo de radiación y de la energía de la misma. La radiación al atravesar la materia va perdiendo energía en cada proceso de interacción. A la mínima distancia necesaria para detener la radiación se le denomina alcance. Este es un concepto de gran utilidad para el estudio de haces de partículas cargadas, que tiene un alcance bien definido ya que pierden energía en interacciones sucesivas. Por lo que el número de interacciones para detener una partícula, depende de la energía inicial.

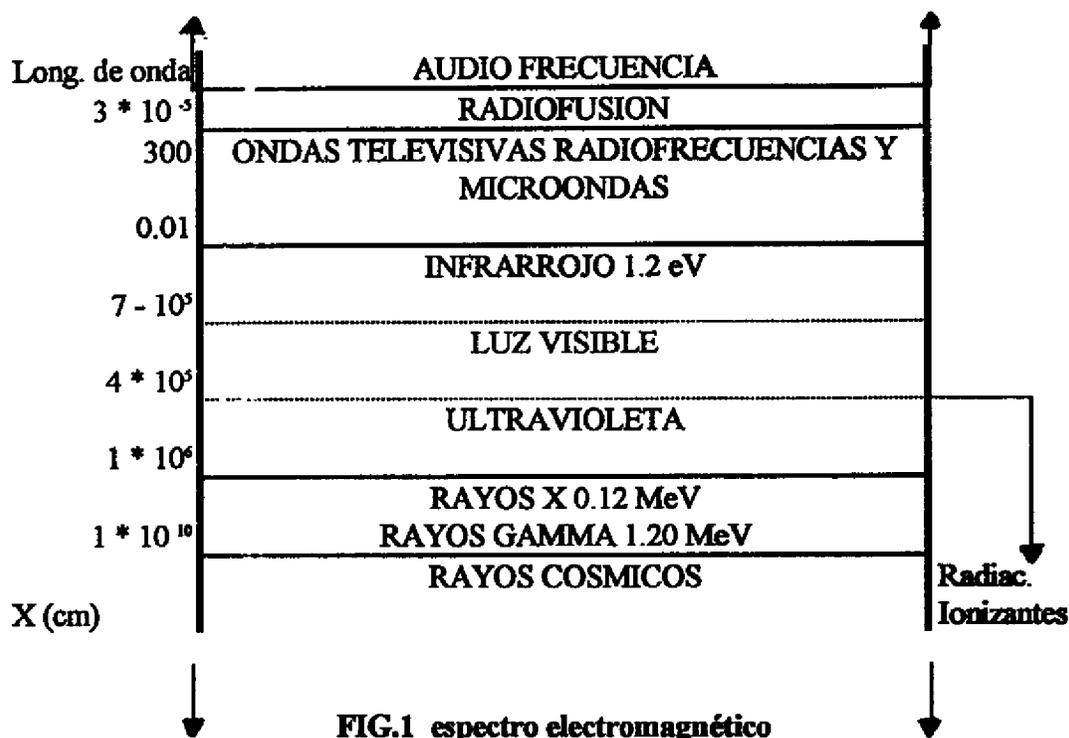
En el caso de la radiación electromagnética no se tiene un alcance definido. Los fotones sufren choques menos frecuentes, lo que hace que sean absorbidos o dispersados.

Es por ello que en lugar de hablar de alcance para este tipo de radiación, se emplea el concepto de camino libre medio o distancia que en promedio recorre un fotón antes de interactuar.

### Espectro electromagnético

Los estudios realizados por Maxwell a mediados del siglo pasado, demostraron que la luz es uno de los componentes de un espectro de radiaciones, denominado espectro electromagnético y todas ellas tienen la característica de poseer la misma velocidad "C" en el espacio libre. Por otro lado se tiene que ellas difieren sólo en su longitud de onda ( $\lambda$ ) y por consiguiente en su frecuencia (f).

$$\lambda = C T = C / f$$



El conjunto de todas estas formas de energía constituyen un espectro continuo de una gran amplitud como puede observarse en la figura anterior. Dentro de éste, se tienen dos fronteras bien definidas de lo que se conoce como luz visible. Por un lado el infrarrojo y por el otro el ultravioleta. Estos no solo definen el rango de energías detectadas por el ojo humano sino que también constituyen la diferenciación entre radiaciones ionizantes y no ionizantes.

La ionización, es un proceso de transferencia de energía que altera el balance eléctrico de un átomo. Si un átomo (normalmente neutro) perdiera uno de sus electrones orbitales dejaría de ser neutro. Tendría más cargas positivas que negativas, transformándose en un ion positivo. Existen una serie de radiaciones y partículas sub-atómicas, que poseen la energía suficiente como para provocar esta inestabilidad eléctrica, por ello éstas son llamadas radiaciones ionizantes.

De la cuantización de la energía de Planck, se tiene que la fórmula para calcular la energía electromagnética, está dada por:

$$E = h \cdot u$$

donde:

- E: Energía en electrón voltios (eV)
- h: constante de Planck =  $4,13 \times 10^{-15}$  eV - seg
- u: Frecuencia en  $\text{seg}^{-1}$

De la fórmula anterior se observa que a mayor frecuencia, mayor energía. Este es un aspecto muy importante, por cuanto permite discriminar o medir el efecto que puede producir una determinada radiación electromagnética, ya que se puede inferir la cantidad de energía que puede entregar a un cierto cuerpo. La energía entregada por unidad de masa, es lo que se denomina dosis, como se verá posteriormente.

## **INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA**

### **1 INTERACCION DE PARTICULAS CARGADAS CON LA MATERIA.**

Este tipo de interacción tiene lugar a través de colisiones elásticas o inelásticas con núcleos atómicos, con electrones orbitales o con cargas libres. Se habla de una colisión elástica cuando la energía cinética total del sistema se mantiene constante. Mientras que es inelástica, cuando esa energía no se conserva, o sea cuando parte de la misma se transforma en algún otro tipo de energía.

En términos generales las partículas cargadas interactúan con la materia por una de las cuatro alternativas siguientes:

Colisión elástica con electrones atómicos

Colisión elástica con núcleos

Colisión inelástica con electrones atómicos

Colisión inelástica con núcleos

#### **1.1 Colisión elástica con electrones atómicos**

En este caso la partícula incidente es desviada por el campo coulombiano de los electrones orbitales, perdiendo muy poca energía cinética en el proceso. Este tipo de interacción es importante sólo en el caso de electrones de baja energía (debajo de los 100 eV).

#### **1.2 Colisión elástica con núcleos**

Se da cuando la partícula es desviada por la interacción con el campo coulombiano de las cargas positivas nucleares, cediendo una parte de su energía de movimiento. Ocurre fundamentalmente con partículas beta.

#### **1.3 Colisión inelástica con electrones atómicos**

En este tipo de colisión parte de la energía cinética de la partícula incidente se emplea en excitar los electrones del átomo. Estos vuelven a su estado fundamental, emitiendo fotones con energías características del material excitado. Puede ocurrir también que la energía cedida sea lo suficientemente grande como para arrancar uno o varios electrones, con lo cual el átomo queda ionizado, formándose de esta manera un par iónico.

## 1.4 Colisión inelástica con núcleos

Se da cuenta que la partícula incidente es acelerada o frenada por interacción con el campo coulombiano del núcleo, cediendo parte de su energía y emitiendo radiación electromagnética.

En algunos casos, en lugar de emitirse radiación, la energía cedida por la partícula, se emplea en excitar el núcleo.

## 2 RADIACION DE FRENADO

Cuando una partícula cargada con alta energía colisiona con núcleos atómicos por interacción coulombiana, se pueden producir bruscas desaceleraciones y de acuerdo con las leyes de la electrodinámica, éstas darán lugar a la emisión de radiación electromagnética de espectro continuo. Este fenómeno se conoce como radiación de frenado o del alemán "Bremsstrahlung".

Para partículas pesadas, las pérdidas de energía por radiación de frenado son despreciables. No obstante, cobran mucha importancia en el caso de partículas sub atómicas, como electrones, ya que son la base de la producción de rayos X.

En la producción de rayos X, se tiene un flujo de electrones, los cuales son acelerados por medio de un campo electromagnético. Frente al flujo se coloca un blanco, normalmente un elemento pesado, como puede ser tungsteno o molibdeno. Al golpear los electrones el blanco, normalmente llamado ánodo, se produce calor y rayos X en un espectro de emisión continuo.

## 3 ABSORCION DE PARTÍCULAS ALFA ( $\alpha$ )

Las partículas alfa (  $\alpha$  ), son equivalentes a núcleos de Helio (  $\text{He } 2^4$  ) junto con los protones (  $\text{H}^1$  ), los deuterones (  $\text{H}^2$  ) y los tritones (  $\text{H}^3$  ) constituyen el grupo de partículas cargadas pesadas, más comunes. Su interacción con la materia produce principalmente ionización y excitación en los átomos del material absorbente, no existiendo prácticamente radiación de frenado (bremsstrahlung).

El alcance de un haz de partículas  $\alpha$  al atravesar un material o una cierta sustancia S, está relacionado con el alcance que tiene en el aire.

Se define el poder relativo de frenado "PRF" como:

$$\text{PRF} = \frac{R_a}{R_s} \frac{d_s}{d_a}$$

donde:  $R_a$ : alcance en el aire  
 $d_a$ : densidad del aire  
 $R_s$ : alcance de la sustancia  
 $d_s$ : densidad de la sustancia

Ejemplo:

Determinar el PRF usando como material el aluminio.

$$d_{Al} = 2.74 \text{ g/cm}^3, d_a = 1.3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3.$$

$$\text{PRF} = \frac{2.74 \text{ g/cm}^3}{1.3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3} = 2.10 \times 10^3$$

Con este ejemplo, fácilmente se puede observar como el alcance de una partícula  $\alpha$  es 2100 veces menor en el aluminio que en el aire.

Las partículas  $\alpha$  son proyectiles que debido a su gran masa (comparativamente hablando con respecto a sub partículas) no son desviadas en su interacción con los átomos de un gas, resultando rectilíneas sus trayectorias. Por otro lado su doble carga positiva las hace fuertemente ionizantes. Es así que estas partículas pierden gran parte de su energía produciendo ionización a lo largo de su trayectoria.

#### 4 ABSORCION DE PARTICULAS BETA ( $\beta$ )

Las partículas  $\beta$ , negativas o positivas (positrón  $\beta^+$ ) de origen nuclear tienen velocidades que pueden llegar a prácticamente la velocidad de la luz. Sin embargo sus energías son menores en general que las de las partículas  $\alpha$ , ya que en su mayoría no alcanzan los 4 meV.

Las partículas  $\beta$  son mucho más penetrantes que las  $\alpha$ , lo que hace necesario el empleo de métodos muy distintos para las mediciones de absorción. Para tener una idea comparativa debe tenerse en cuenta que una partícula  $\alpha$  de 3 MeV, tiene un alcance de 2.8 cm en aire y produce alrededor de 4000 pares iónicos por mm de recorrido, mientras que una partícula  $\beta$  de igual energía tiene un alcance en aire de más de 1000 cm y sólo produce 4 pares iónicos por mm.

Si se realizara un conteo de partículas  $\beta$ , en escala logarítmica, se notaría que éste disminuye linealmente hasta espesores próximos al necesario para la absorción total, lo que indica que, el número de partículas  $\beta$ , disminuye con el espesor, según una ley exponencial dada por:

$$c(x) = C * e^{-mx}$$

siendo:

m: coeficiente lineal de absorción del material.

c(x): conteo con un espesor x

Usando el coeficiente máximo de absorción, definido como:

$$\mu_m = m/d$$

donde: d: es la densidad del material

$$c(x) = C_0 * e^{-\mu_m x}$$

donde: d: es la densidad superficial.

Por ser la masa de las partículas  $\beta$  muy pequeña y sus velocidades muy altas, hacen que los mecanismos de interacción con la materia, sean más complicados que en el caso de las partículas  $\alpha$ . Asimismo se desvían con más facilidad, por acción de los núcleos atómicos, de modo que sus recorridos no son en general rectilíneos.

## INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA

El paso de la radiación electromagnética por la materia se caracteriza por una ley obtenida experimentalmente:

$$I(x) = I_0 * e^{-mx}$$

donde:

I: intensidad de la radiación que atraviesa el material absorbente.

m: coeficiente de absorción lineal.

x: Espesor del material.

A diferencia de las partículas cargadas, que tienen alcances definidos, relacionados con su energía inicial, la radiación electromagnética no presenta esta propiedad al atravesar la materia.

Los fotones que componen el haz sufren choques efectivos, mucho menos frecuentes que las partículas cargadas por lo que son absorbidos por los átomos, arrancando electrones atómicos. Es decir, van desapareciendo a lo largo de la trayectoria del haz en la materia o son eliminados por dispersión.

Para los fotones se puede hablar de un camino libre medio recorrido por el fotón antes de ser absorbido o dispersado. Este valor corresponde a la distancia media que alcanza antes de desaparecer por alguno de los caminos antes mencionados y es igual al espesor para el cual la intensidad del haz se reduce a  $1/e$  de su valor inicial.

Existen tres mecanismos principales de interacción de la radiación electromagnética con la materia:

Efecto fotoeléctrico  
Efecto Compton  
Creación de pares.

## 1 Efecto Fotoeléctrico

En el proceso fotoeléctrico, toda la energía del fotón incidente,  $h\nu$  es cedida a un electrón ligado (en el 80% de los casos en la capa K) de un átomo que resulta expulsado del mismo con una energía cinética:

$$T = h\nu - w$$

donde:

$w$  = potencial de ionización del electrón.

Un electrón libre no puede absorber completamente a un fotón ya que no cumpliría la conservación simultánea de la energía y el momento.

Este mecanismo de interacción de radiación electromagnética con la materia es el dominante cuando la energía de los rayos X o Gamma es baja (50 - 100 KeV) y los materiales son pesados (plomo). Por tanto esa es de suma importancia de conocer muy bien sobre todo cuando se está trabajando con rayos X. Cabe destacar que las energías arriba mencionadas (entre paréntesis) son las más comunes en casi todos los campos de aplicación.

## 2 Efecto Compton

A medida que la energía de la radiación incidente aumenta, su longitud de onda decrece y hay una mayor tendencia a interactuar con los electrones individuales y no con el átomo en su conjunto como el caso del efecto fotoeléctrico.

Los fotones muy energéticos "ven a los electrones orbitales prácticamente como partículas libres" y la interacción puede considerarse como una colisión elástica entre un fotón y un electrón libre.

Como el fotón no se absorbe totalmente, se presenta un fotón disperso que se mueve en dirección distinta a la del fotón original con una energía y cantidad de movimiento también diferente. La conservación de estas magnitudes para el sistema en su conjunto garantiza el electrón que es dispersado por el fotón, retrocediendo con la velocidad y la dirección apropiada.

Este proceso conocido como efecto Compton, constituye el mecanismo de absorción más importante para radiación electromagnética con energías entre los 0.5 y 1 Mev.

### 3 Creación de pares

Este tercer mecanismo de interacción de la radiación con la materia, se da cuando la energía de los fotones incidentes alcanza el doble de la energía en reposo de los electrones, es decir:

$$h\nu = 2 M_e C^2 = 1.02 \text{ MeV}$$

Este fenómeno consiste en la creación de un par electrón positrón a partir de un fotón que desaparece en el proceso. Este hecho debe tener lugar en el campo eléctrico existente en la vecindad del núcleo al que se le entrega cierta energía de retroceso y cierta cantidad de movimiento de modo tal que se cumplan los principios de conservación respectivos.

La creación de pares está estrechamente ligado con la aniquilación electrón - positrón. Cuando este último es creado va perdiendo velocidad por colisiones sucesivas con los átomos, hasta quedar prácticamente en reposo. En este momento puede interactuar con un electrón que se encuentra en el mismo estado, desapareciendo ambas partículas dando lugar a dos fotones, cada uno de 0.51 Mev, que se mueven en direcciones opuestas.

## **CAPITULO III**

### **UNIDADES Y MAGNITUDES OPERACIONALES**

## **CAPITULO III**

### **UNIDADES Y MAGNITUDES OPERACIONALES**

#### **INTRODUCCION**

Posterior al descubrimiento de los rayos X y la radiactividad, a finales del siglo XIX y principios del XX, se hizo patente el hecho de que una excesiva e incontrolada exposición a tales radiaciones podría producir efectos biológicos perjudiciales. Aunado a lo anterior, la gran aplicabilidad que esta fuente de energía ha tenido en la sociedad en todos los campos ( industrial, médico, bélico, etc); han creado la necesidad de medir o cuantificar tanto los efectos biológicos como las dosis que son entregadas en las diferentes aplicaciones.

Por lo antes expuesto y conforme se han ido requiriendo, se han creado una serie de unidades que cuantifiquen los siguientes fenómenos:

- Desintegración radiactiva
- Generación y transporte de la radiación ionizante
- Interacción de la radiación con la materia
- Efectos biológicos asociados.

Las labores para crear estas unidades operacionales fueron dadas a dos instituciones de gran prestigio y trayectoria a través de los años, son ellas: La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (I.C.R.U) y La Comisión Internacional de Protección Radiológica (I.C.R.P).

Estas entidades, han establecido un compendio de unidades radiológicas que permiten hoy en día caracterizar con adecuada precisión los fenómenos anteriormente mencionados.

Las unidades que se detallarán a continuación, han sido objeto de distintas modificaciones a lo largo del tiempo. Entre 1953 y 1962 la I.C.R.U. presentó sus definiciones de dosis de radiación absorbida, exposición, dosis equivalente y actividad, y sus respectivas unidades: Rad, Roengent, Rem y Curie.

En 1975, a propuesta del I.C.R.U. se adoptaron como unidades S.I. (sistema internacional), el Gray para dosis absorbida, el Sievert para dosis equivalente, el Bequerelio para actividad y el Roengent continua siendo la unidad de exposición.

Los datos que a continuación se presentan, se basan en las recomendaciones del I.C.R.U. (Publicación N.33)

## LEY DE DECAIMIENTO RADIOACTIVO

Al considerar una muestra de material radiactivo, en un cierto tiempo  $t_m$ , contiene  $N(t_m)$  núcleos, en un tiempo posterior  $t = t_m + t$ , se habrán producido algunas desintegraciones, de modo que ya no se tendrán  $N$  núcleos de la sustancia original, sino un número menor:  
 $N(t) = N(t) - N(t_m)$ , que es un número negativo y la probabilidad de desintegración en el intervalo de tiempo  $t$  será:

$$p = \lambda \cdot t \ll 1$$

relacionando:  $\Delta N / N_m$

para un tiempo infinitesimal:  $\lambda \cdot dt = -dN / N$

$$\text{integrando: } \int_{t_m=0}^t \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$$

$$-\lambda t = \ln \left\{ \frac{N}{N_m} \right\} \implies e^{-\lambda t} = N(t) / N_m \quad [1]$$

Esta expresión, permite calcular el número de núcleos presentes en un tiempo  $t$  de una sustancia activa conociendo cuántos habían en el instante  $t = 0$ .  $\lambda$  es una propiedad exclusiva de cada especie de nucleido.

## PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION

Representa el tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos de una sustancia dada en una muestra se reduzca a la mitad de su valor inicial. Por traducción del inglés en muchas ocasiones se conoce este término como vida media, no obstante físicamente esta palabra tiene otra significación que no viene al caso.

De la ecuación [ 1 ]  $N(t) = N_m e^{-\lambda t}$

si  $t = t_m \implies N(t) = N_m / 2 = N_m e^{-\lambda t}$

$1/2 = e^{-\lambda t} \implies \lambda t = -\ln 1/2 = \ln 2$

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

**Ejemplo:**

El Pa-234 tiene una constante de desintegración  $\lambda = 9.77 \times 10^{-3} \text{ seg}^{-1}$ . Al cabo de cierto tiempo el número de nucleidos ha disminuido al 10 % del valor original. Calcular dicho tiempo y a cuantos periodos corresponde.

De la ec. [ 1 ] se tiene:

$$\frac{N(t)}{N_m} = 0.1$$

$$\ln 0.1 = -\lambda t \implies t = \frac{-\ln 0.1}{9.77 \times 10^{-3} \text{ seg}^{-1}} = 235.6 \text{ seg}$$

$$\text{Además: } T = \frac{0.693}{\lambda} = 70.93 \text{ seg}$$

$$\text{Si } t = B T \implies B = t/T = 235.6 / 70.93 = 3.3$$

donde B es el número de períodos transcurridos.

## ACTIVIDAD

Se había obtenido anteriormente, el número de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo como  $dN/dt$ , este  $dN/dt$ , representa una tasa de cambio o velocidad a la que se desintegra un radionucleido. A esta relación se le conoce como la actividad de un radionucleido.

$$A = dN/dt \quad \text{pero } dN/dt = N\lambda e^{-\lambda t}$$

realizando algunos arreglos se tiene finalmente:

$$A = A_m e^{-\lambda t}$$

La actividad se puede presentar en unidades inversas de tiempo, que se suelen expresar como desintegraciones/minuto, o desintegraciones/segundo. A esta unidad de actividad se le dio el nombre de Curie y equivale a:

$$1 \text{ Sv} = 3.7 \times 10^{10} \text{ desintegraciones/segundo.}$$

Para hacer esta unidad equivalente con el SI de medidas, se crea el becquerelio (Bq).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración/segundo.} \quad 1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

## ACTIVIDAD Y MASA

La actividad de una muestra radiactiva es proporcional al número de núcleos presentes y obviamente la masa de la sustancia radiactiva también lo es porque

$$m = \frac{N * Pat}{\#av} \implies N = \frac{m * \#av}{Pat}$$

donde

Pat: peso atómico (gr)

#av: Número de avogadro

$$A = \lambda N$$

luego

$$A = \lambda N = \frac{m * \#av * \lambda}{Pat}$$

$$m = \frac{A * Pat}{\lambda * \#av}$$

### Ejemplos:

1. Calcular la actividad de 1 mg de Cr en desintegraciones por seg y en Ci, sabiendo que su periodo es  $T = 27,8$  días.

Solución:

$$A = \frac{m * \lambda * \#av}{Pat} \quad \text{y} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$A = \frac{(0,693)(10^{-3} \text{ g}) 6,02 \times 10^{23} \text{ at/mol}}{(27,8)(86400 \text{ seg})(51 \text{ g/mol})}$$

$$A = 3,40 \times 10^{12} \text{ des/seg.}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ des/seg.} \implies A = 92 \text{ Ci}$$

2. Se desea conocer la masa de una fuente de 100 Ci de

a) Na-22  $T = 2,62$  años

b) Na-24  $T = 15,05$  horas

Solución:

a)  $m = \frac{A * Pat}{\lambda * \#av}$   
 $\lambda = \ln 2 / T$

$$m = \frac{T * A * Pat}{\ln 2 * \#av}$$

$$m = \frac{(2,62 \text{ años} * 3,15 \times 10^7 \text{ seg}) (100 \text{ Ci} * 3,7 \times 10^{10} \text{ des/seg}) (22 \text{ gr/mol})}{(0,693)(6,02 \times 10^{23} \text{ at/mol})}$$

$$m = 0,016 \text{ gr.}$$

$$b) m = \frac{(15,05 \text{ h} * 3600 \text{ seg}) (3,7 \times 10^{10} \text{ des/seg}) (24 \text{ g/mol})}{(0,693)(6,02 \times 10^{23} \text{ at/mol})}$$

$$m = 1,15 \times 10^{-5} \text{ gr}$$

## EXPOSICION (X)

Es una de las magnitudes dosimétricas más antiguas, evalúa la intensidad de un campo de radiación electromagnético X o t. Se define como:

$$X = dQ/dm \quad U \gg C/ Kg$$

donde:

dQ: es el valor absoluto de la carga eléctrica total producida en el aire cuando todos los electrones liberados son frenados en un diferencial de masa de aire dm.

La unidad tradicional es el roentgen ( R ) siendo:

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

Tanto esta unidad como las siguientes, pueden expresarse como una tasa, dividiéndolas entre alguna unidad de tiempo. Por ejemplo:

$$\dot{X} = R/h \quad \text{o} \quad X = R/seg$$

Asimismo, se pueden tener múltiplos o submúltiplos de la unidad en cuestión y de todas las que se estudiarán, como por ejemplo:

$$\dot{X} = mR/h \quad \text{o} \quad X = KR/h$$

Existe una forma de calcular teóricamente, la tasa de exposición a un metro de distancia, a partir de dos datos; la actividad del nucleido y un número conocido como constante gamma (G), que se expresa en unidades de: R/[Ci\* h]. Esta constante es propia de cada radioisótopo y los valores se encuentran tabulados. En la tabla N°1 se presentan los valores más comunes.

Expresada matemáticamente:

$$X = G * A / d^2$$

Ejemplo:

Se desea conocer la tasa de exposición a 2 m de una fuente de Co-60, con una actividad de 6000 Ci

Solución:

$$G \text{ para Co-60} = 1.32$$

$$X = 1.32 * 6000 / (2)^2 = 1980 \text{ R/h}$$

TABLA N°1

CONSTANTES GAMMA (G) MAS COMUNES

NUCLEIDO	F (R/hCi) a 1m
Cesio 137	0.33
Cobalto 60	1.32
Yodo 125	0.07
Yodo 131	0.22
Molibdeno 99	0.18
Radio 226	0.82

DOSIS ABSORBIDA

Es la energía que el material irradiado ha absorbido por unidad de masa del mismo. Matemáticamente se expresa:

$$D = dE / dm \quad U \gg J / Kg$$

El nombre en el sistema S I. es el Gray (Gy): 1 Gy = 1 J/Kg. El nombre antiguo es el rad (rad): 1 Gy = 100 rad

A partir de la exposición, puede determinarse D:

$$D = X * f$$

donde:

f = factor de conversión que depende de la energía del radioisótopo y de los coeficientes de absorción máxicos del material irradiado y del aire.

## DOSIS EQUIVALENTE

Es una unidad utilizada en radioprotección, que mide el efecto (probabilidad) en un órgano dado que un tipo específico de energía y radiación produce en éste. Su nombre en el S.I. es el Sievert (Sv)  
 $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/Kg}$ . Se define como:

$$H = D * W_r$$

donde:

D: dosis absorbida en un órgano o tejido.

$W_r$ : Factor de radiación (tipo de radiación y energía de ésta). Se presentan algunos de estos datos en la tabla 2.

La unidad antigua era el Rem (r)

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \quad \text{ó} \quad 1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$$

**TABLA N°2**  
**FACTOR DE RADIACION  $W_r$**

RADIACION	$W_r$
X, t y b	1
a	20
ç	20

## DOSIS EFECTIVA EQUIVALENTE

Permite expresar la combinación de la irradiación de distintos tejidos u órganos con diferentes dosis de tal forma que pueda ser representativa la probabilidad total de ocurrencia de los efectos biológicos. Esto se logra utilizando un factor de ponderación o factor de tejido conocido como  $W_t$ , el cual considera la radiosensibilidad de los diferentes órganos ( $W_t < 1$ ).

$$H_t = S H * W_t$$

En la tabla 3 se presentan los valores característicos de los distintos  $W_t$ .

**TABLA N°3**  
**FACTOR DE PONDERACION Wt**

<b>ORGANO</b>	<b>WT</b>
Gónadas	0.20
Médula ósea	0.12
Colon	0.12
Pulmón	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Seno	0.05
Higado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01
Hueso	0.01
Resto	0.05