# MODULO 1
# ELEMENTOS DE RADIACTIVIDAD

## RADIACTIVIDAD

En la naturaleza hay ciertos elementos inestables en el sentido que pueden emitir espontáneamente partículas o radiación modificando la naturaleza o el estado de los núcleos de sus átomos. Este proceso de emisión se llama desintegración radiactiva y el fenómeno **radiactividad.**

La desintegración radiactiva responde a las leyes estadísticas y sus propiedades son independientes de cualquier influencia del entorno tales como presión, temperatura, campos eléctricos o magnéticos y reacciones químicas. Para precisar más, es una propiedad característica de cada nucleido en particular. Se suele denominar nucleido al núcleo estudiado en estos tratamientos sin hacer referencia al átomo del que forma parte.

Considerando una muestra formada por átomos de un elemento radiactivo, en instantes de tiempo estadísticamente al azar se producirán desintegraciones radiactivas.

Esto ocurrirá con una probabilidad, que es propia del nucleido considerado. Se define entonces una **constante de desintegración**, que es la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo. Se la denota con la letra $\lambda$ y su unidad es una inversa del tiempo, por ejemplo: segundo$^{-1}$, minuto$^{-1}$, año$^{-1}$.

A las radiaciones menos penetrantes, que son absorbidas por una hoja de papel o una delgada lámina metálica, se las denominaron Rayos $\alpha$ y a otras más penetrantes, Rayos $\beta$. Se comprobó que estos rayos, que podían ser desviados por un campo magnético, son de naturaleza corpuscular. Más tarde se reconoció que las partículas $\alpha$ son núcleos de helio y que las partículas $\beta$ son electrones. Otro tipo de radiación a la que se denominó Rayos $\gamma$ que no se desvía en presencia de un campo magnético fue identificado con la emisión de radiación electromagnética o fotones. También se detectaron partículas con propiedades idénticas a las $\beta$ pero cuya desviación en un campo magnético indicaba que tenían carga positiva. A éstas se las llamó $\beta+$, y a las anteriores, para diferenciarlas, $\beta^-$.

Interesa la penetración de la radiación en la materia fundamentalmente por dos motivos, primero, porque cuando la radiación es frenada se produce una conversión de la energía de la radiación en energía térmica y, segundo, porque la radiación es dañina para los sistemas biológicos y es necesario conocer cómo protegerlos de las fuentes de radiación.

En principio, la ley de decaimiento o desintegración radiactiva es independiente del tipo ($\alpha$, $\beta$ o $\gamma$) de radiación que se trate. Por ello, se estudiarán las leyes de la desintegración radiactiva de manera general.

## LEY DEL DECAIMIENTO EXPONENCIAL

Se considera una muestra de material radiactivo tal que en el instante $t = t_0$ contiene $N_0 = N(t_0)$ núcleos.

En el transcurso de un intervalo de tiempo $\Delta t$ a partir de $t_0$, se producirán algunas desintegraciones radiactivas, de modo que en el instante $t = t_0 + \Delta t$ ya no se tienen $N_0$

núcleos de la sustancia original sino un número menor $N(t)$. La diferencia $\Delta N$ entre $N=(t_0)$ y $N(t)$ corresponde al número de núcleos que se han desintegrado. Como esa diferencia es un número negativo, entonces $(-\Delta N)$ es el número de desintegraciones ocurridas en el lapso $\Delta t$.

Se calcula a continuación la probabilidad de desintegración en el intervalo $\Delta t$ a partir de $t = t_0$. Por una parte, si $\lambda$ es la probabilidad de desintegración en la unidad de tiempo, la probabilidad de desintegración en $\Delta t$ es:

$$\lambda \cdot \Delta t \tag{1}$$

Por otro lado se puede expresar la probabilidad de desintegración en $\Delta t$ como:

$$\frac{Número\, de\, casos\ favorables}{Número\, de\, casos\ posibles} = \frac{-\Delta N}{N_0} \tag{2}$$

Donde el numerador $(-\Delta N)$ es el número de desintegraciones efectivamente producidas en $\Delta t$ y el denominador es $N_0$ porque cualquiera de los $N_0$ núcleos presentes al tiempo $t_0$ pudo haberse desintegrado.

Igualando las expresiones (1) y (2):

$$\lambda . \Delta t = -\frac{\Delta N}{N_0}$$

Si tomamos un intervalo de tiempo infinitesimal a partir de un instante cualquiera, la expresión anterior se expresa:

$$\lambda . dt = -\frac{dN}{N}$$

Integrando en ambos miembros y operando se obtiene la **ley general de la desintegración radiactiva**:

$$N(t) = N_0 \ e^{-\lambda t} \tag{3}$$

Esta expresión permite calcular el número de núcleos de una sustancia **activa** presentes al tiempo $t$, conociendo cuántos había en el instante $t_0$. La constante $\lambda$ es una propiedad de cada especie de nucleido que lo identifica inequívocamente, independiente de cualquier factor exterior.

En consecuencia, si se conoce una sustancia es posible identificar su $\lambda$ y si se mide el $\lambda$ de una sustancia incógnita se puede revelar su naturaleza.

Es cómodo definir otra magnitud asociada a la velocidad con que una sustancia radiactiva se desintegra, llamada indistintamente **semiperíodo de desintegración, período semidesintegración**, o simplemente **período**.

El período $T$ es el tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos de una sustancia radiactiva en una muestra se reduzca a la mitad de su valor inicial, es decir:

$$N(T)=\frac{N_0}{2}$$

Si se reemplaza en la ley general de la desintegración $t=T$ , se hallará la relación entre $T$ y $\lambda$:

$$N(T)=N_0\, e^{-\lambda T} \quad \Rightarrow \quad \frac{N_0}{2}=N_0\, e^{-\lambda T}$$

Operando:

$$\frac{1}{2}=e^{-\lambda T} \quad \Rightarrow \quad -\ln 2=-\lambda\, T$$

$$T=\frac{\ln 2}{\lambda}=\frac{0{,}693}{\lambda}$$

La unidad del período es de tiempo y su valor puede variar desde el orden de los $10^{-10}$ segundos hasta los $10^{23}$ segundos.

## VIDA MEDIA DE UN NUCLEIDO

Si se calcula un promedio del tiempo que los núcleos tardan hasta desintegrarse a partir de un instante $t_0=0$ en una muestra radiactiva, se obtiene una magnitud llamada **vida media**, que se denota con la letra $\tau$.

o sea:
$$\tau=\frac{1}{\lambda}$$

Las unidades de la vida media son de tiempo y su relación con el período es simplemente:

$$T=\ln 2\, \tau$$

Se calcula a continuación cuántos núcleos sobreviven al tiempo $t=\tau$. De acuerdo con la (3):

$$N(\tau)=N_0\, e^{-\lambda\tau}=N_0\, e^{-1}=\frac{N_0}{e}$$

Se puede ver que la vida media es el tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos de una muestra se reduzca a 1/*e* de su valor inicial.

## ACTIVIDAD

Se había señalado que $(-\Delta N)$ es el número de núcleos que se desintegran en el tiempo $\Delta t$. Entonces $\left(-\frac{dN}{dt}\right)$ es el número de núcleos que se desintegran en la unidad de tiempo. Esta magnitud que puede entenderse como una velocidad de desintegración, se llama **actividad**, y se la denota con la letra $A$,

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

Se deduce de la (3) que

$$\frac{dN}{dt} = N_0\, e^{-\lambda t}\left(-\lambda\right) = -\lambda\, N$$

Entonces la actividad también se puede expresar como:

$$A = \lambda\, N$$

Como $N$ es función del tiempo, también lo será $A$:

$$A(t) = \lambda\, N(t) = \lambda\, N_0\, e^{-\lambda t}$$

Definiendo $\lambda\, N_0 = A_0$ como la actividad al instante inicial $t_0$, se obtiene:

$$A(t) = A_0\, e^{-\lambda t} \qquad (4)$$

Se observa que la actividad sigue una ley exponencial idéntica formalmente a la (3). La actividad se puede presentar medida en unidades inversas del tiempo, por ejemplo como ”desintegraciones/segundo”.

La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU), en su Informe Nº 33, recomienda el uso del Becquerel (Bq) como unidad de actividad. Se define el Becquerel como una desintegración por segundo:

$$\mathbf{1\,Bq = 1\ s^{-1}}$$

Dado que 1 bq es una cantidad muy pequeña de actividad es muy frecuente el uso de los múltiplos del mismo, por ejemplo, MBq, GBq, TBq, etc.

Durante mucho tiempo se utilizó otra unidad de actividad llamada Curio o Curie. El Curie, cuya abreviación es Ci, es una unidad de radiactividad definida como la cantidad de cualquier nucleido radiactivo que produce 3,7 x $10^{10}$ desintegraciones por segundo. Se puede escribir entonces:

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

Es útil estudiar gráficamente las funciones $N(t)$ y $A(t)$. En primer lugar se señaló que la forma de los gráficos será idéntica en ambos casos porque la dependencia con el tiempo es la misma. En la siguiente figura se presenta el gráfico de $\frac{N}{N_0}$ en función del tiempo.

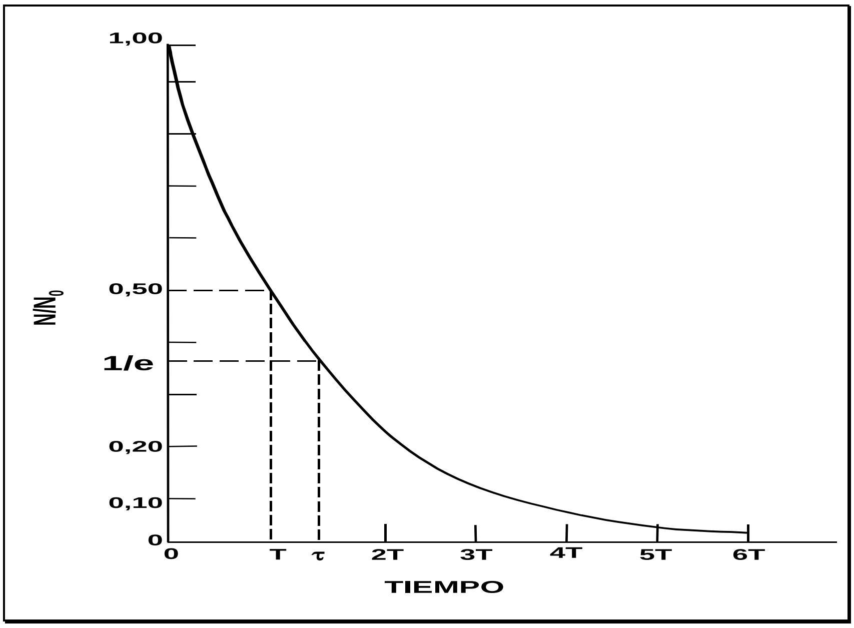



*Gráfico de* $\frac{N}{N_o} = -\lambda\, t$

Si se desconoce la **vida media** o **periodo de desintegración** de una sustancia, para la que se pudo graficar $A(t)$ en cierto intervalo de tiempo mayor que dicho periodo, se puede hacer una determinación sencilla del mismo representándolo en un grafico semi-logarítmico.

## ACTIVIDAD Y MASA

La actividad de una muestra radiactiva es proporcional al número de núcleos presentes ( $A = \lambda\, N$ ) por lo tanto la masa de la sustancia radiactiva también lo es. En efecto, si se escribe la masa en términos del número de átomos resulta:

$$m = N \frac{P_A}{N_A}$$

donde $P_A$ es el peso atómico del nucleido activo y $N_A$ es el número de Avogadro. Entonces, se puede relacionar directamente la actividad con la masa de la siguiente manera:

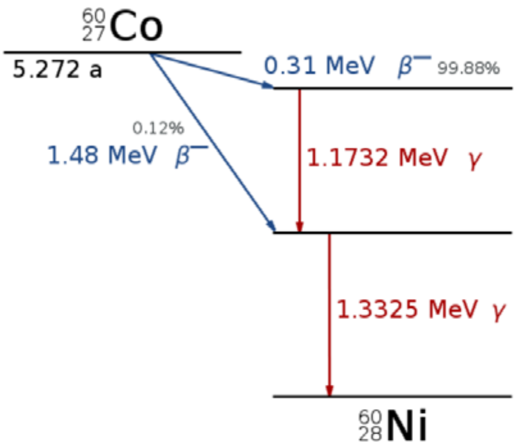
$$A = \lambda\, N = \lambda\, m \frac{N_A}{P_A} \Rightarrow \quad m = \frac{A}{\lambda} \frac{P_A}{N_A}$$

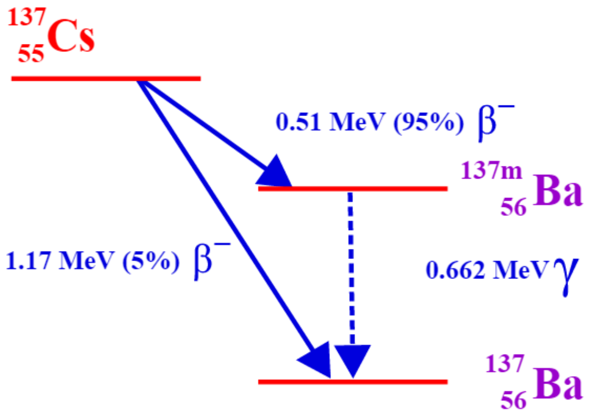
## ACTIVIDAD ESPECÍFICA

La actividad específica de una muestra de sustancia radiactiva es la actividad de dicha muestra dividida por su masa y se expresa en Bq/g.

$$A_e = \frac{A}{m}$$

## ESQUEMAS DE DECAIMIENTO




| Fuente | Energía[1] (KeV) |
|---|---|
| Cs 137 | 662 |
| Co 60 | 1332 |
| Co 60 | 1173 |
| Ba 133 | 81 |
| Ba 133 | 303 |
| Ba 133 | 356 |
| K 40 | 1461 |
| Am 241 | 60 |