

## CONCEPTOS BASICOS SOBRE RADIOACTIVIDAD

### 1. Radiactividad natural y artificial

La radioactividad es un fenómeno natural por el cual ciertos átomos cambian su estructura. La comprensión de este fenómeno ha permitido su aplicación en diferentes actividades.

La mayor proporción de la radiación a la que estamos expuestos proviene de fuentes naturales -del espacio, rocas, suelo, agua y hasta de nuestro propio cuerpo. Esta radiación se denomina "radiación de fondo" y los niveles varían considerablemente de sitio en sitio, a pesar de esto, el promedio de radiación recibida o dosis anual es bastante constante. La principal fuente de radiación de fondo es el gas radón, formado básicamente por el decaimiento de los materiales radiactivos presentes en el suelo o en ciertos materiales de construcción.

La radiación que suele ocasionar mayor preocupación es la producida por las actividades humanas. Las principales fuentes de las mismas incluyen las aplicaciones médicas de sustancias radiactivas, las precipitaciones radioactivas provenientes de los ensayos de armas nucleares en la atmósfera realizados a gran escala antes de su definitiva prohibición, las descargas provenientes de la industria nuclear y los desechos radiactivos.

Mientras que las cantidades de radiación artificial representan una pequeña proporción del total, sus efectos pueden ser desproporcionados (Chernobyl es un ejemplo). Algunos de los materiales resultantes de las actividades humanas no se encuentran en la naturaleza (como el plutonio) mientras que otros, que se encuentran en la naturaleza, pueden ser liberados a la misma en formas químicas y físicas diferentes, permitiéndoles dispersarse fácilmente en el ambiente o introducirse en las cadenas alimenticias.

Las dosis de radiactividad que se pueden recibir varía considerablemente. Las áreas cercanas a fuentes de descargas radiactivas, por ejemplo, pueden recibir niveles mucho más altos de radiación que el promedio regional o nacional.

Por esta razón, la simple comparación de la radiación de fondo y la radiactividad artificial no refleja necesariamente los peligros relativos. Además, nunca se ha demostrado que exista algo así como una dosis segura de radiación. Entre tanto, estamos incrementando progresivamente los niveles globales de radiación, lo que es muy preocupante, y esto se suma a la posibilidad de nuevos accidentes nucleares.

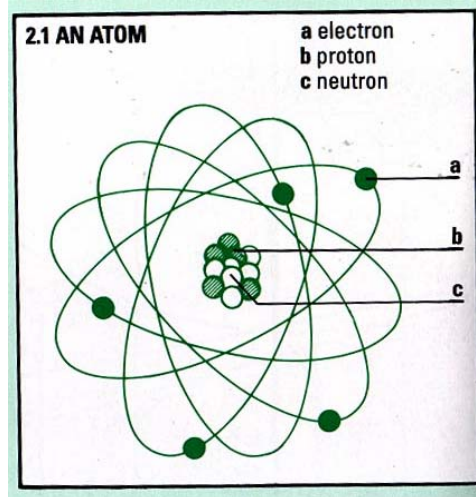
## 2. Una explicación más detallada

### El átomo

Para explicar la naturaleza de la radiactividad tenemos que tener en cuenta lo que sucede dentro de los átomos. Estos se conforman de tres tipos de partículas "sub-atómicas": protones, neutrones y electrones.

El núcleo de cada átomo contiene protones (cargados positivamente) y neutrones (sin carga eléctrica) rodeados por una nube de electrones (con carga negativa).

Normalmente los átomos tienen la misma cantidad de protones que de electrones equilibrándose los unos con los otros, lo que hace que el átomo sea eléctricamente neutro. Si añadimos o quitamos electrones dejamos al átomo con una carga eléctrica neta y la partícula resultante se denomina "ión".



**Fig.1: Estructura típica de un átomo**

*[Para mayor información ver Anexo I]*

### Elementos, isótopos, nucleidos y radionucleidos

Todos los átomos de un mismo elemento químico tiene la misma cantidad de protones. Esto es conocido como el "numero atómico" del elemento y se lo denomina con la letra Z.

Así el hidrógeno que posee un solo protón en su núcleo tiene un número atómico igual a 1 (Z=1).

Algunos elementos y sus números atómicos:

Hidrógeno	H	Z=1
Carbono	C	Z=6
Hierro	Fe	Z=26
Plomo	Pb	Z=82
Uranio	U	Z=92

Pero existen átomos del mismo elemento que pueden tener diferentes cantidades de neutrones en el núcleo y éstos se denominan "isótopos" del elemento.

Los mismos se identifican por un número llamado "número másico" (A) que es la suma de protones y neutrones en el núcleo.

El uranio, por ejemplo, tiene dos isótopos comunes: uranio-235 (92 protones y 143 neutrones) y uranio-238 (92 protones y 146 neutrones).

Los isótopos son químicamente similares pero difieren en su masa debido al diferente número de neutrones. Un átomo de carbono-14 es más pesado que un átomo de carbono-12.

El número atómico (Z) define a que elemento químico pertenece un átomo y el número másico (A) define a que isótopo del elemento.

Los átomos son ubicados en la Tabla Periódica por orden creciente de números de protones (Z).

26					13			
Fe					B			
Hierro					Al			
5	6	7	8	9	10	11	12	13
24	25	26	27	28	29	30	31	32
V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
42	43	44	45	46	47	48	49	50
Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn
74	75	76	77	78	79	80	81	82
W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb
106	107	108	109	110	111	112	113	114
Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq

Un núcleo queda identificado por el número de protones que tiene, o sea, por su número atómico (Z) y por el número total de partículas, o nucleones, llamado número másico (A). Por lo tanto el número de neutrones es la diferencia entre el número másico y el número atómico ( $N = A - Z$ ).

Se denomina "nucleido" genéricamente a todos los núcleos que tienen los mismos Z y N y por lo tanto el mismo A. En otras palabras, de la misma forma que todos los átomos con el mismo Z pertenecen al mismo elemento, todos los núcleos con la misma composición (Z y N) pertenecen al mismo nucleido.

En la naturaleza existen 92 elementos químicos naturales (11 más han sido producidos artificialmente) de los cuales el hidrógeno (un protón) es el más liviano y el uranio (92 protones) es el más pesado. Hay alrededor de 1.440 nucleidos conocidos de los cuales 340 existen en la naturaleza y alrededor de 1.100 se han producido en laboratorio.

Cada elemento puede tener diversos isótopos naturales, por eso existen varios cientos de átomos diferentes.

Los elementos que poseen más de 92 protones son producidos artificialmente en aceleradores de partículas o reactores nucleares. Estas técnicas también pueden generar nuevos isótopos de átomos livianos.

Debido a la carga positiva de los protones, éstos están constantemente rechazándose los unos a los otros, el núcleo se mantiene unido por una contrafuerza (denominada "interacción nuclear fuerte") generada entre los protones y neutrones. La mayoría, se mantienen unidos en una situación estable, pero algunas combinaciones de protones y neutrones no pueden mantener el equilibrio y espontáneamente cambian (decaen) hasta alcanzar una forma más estable liberando ciertas partículas.

Estos cambios son conocidos como "radiactividad", y esos átomos son "isótopos radiactivos". Para alcanzar su forma más estable, algo de la energía del átomo debe ser liberada y es esta energía la que se conoce como "radiación", la que puede ser muy peligrosa para los organismos vivos.

Los átomos, o "nucleidos", que decaen, o se transforman en otros nucleidos, se los puede denominar como "radionucleidos".

A su vez, la nueva forma adoptada por ese átomo también puede ser inestable o radioactivo y así seguir decayendo. Este proceso continúa hasta que el átomo alcance una forma estable definitiva.

Aproximadamente hay 280 nucleidos estables pero la gran mayoría son inestables o "radiactivos".

Por ejemplo, el oxígeno posee  $Z=8$  y existen los isótopos  $A=16$  (Oxígeno-16) y  $A=18$  (Oxígeno-18), ambos son estables. El Fósforo posee  $Z=15$ , su isótopo  $A=31$  (Fósforo-31) es estable, pero su isótopo  $A=32$  (Fósforo-32) es inestable.

### 3. Tipos de radiación

La radiación puede tomar diferentes formas: radiación alfa, beta y gamma.

**Radiación alfa:** si un núcleo es radioactivo "alfa" va a decaer por la expulsión de una "partícula alfa" compuesta por dos neutrones y dos protones. Como resultado de la pérdida de dos protones el átomo cambiará a un elemento diferente que tiene un número atómico dos valores hacia abajo. La radiación alfa tiene lugar normalmente en los elementos pesados.

**Radiación beta:** en el decaimiento "beta", un neutrón se convierte en un protón (o viceversa) y una partícula beta es expulsada para mantener el balance de cargas eléctricas y liberar el exceso de energía. El átomo se convierte en un elemento un número más alto o más bajo en la serie progresiva.

Por ejemplo, el uranio-239 (92 protones y 147 neutrones) decae mediante la emisión de una partícula beta para convertirse en neptuno-239 (93 protones y 146 neutrones).

**Radiación gamma:** la emisión de partículas alfa y beta no siempre dejan al núcleo en su estado más estable y el exceso de energía remanente puede ser liberada como rayos gamma (en forma de radiación electromagnética, como lo son los rayos X o las microondas)

Estos diferentes tipos de radiación reaccionan con la materia de diferentes maneras y algunas son mas penetrantes que otras.

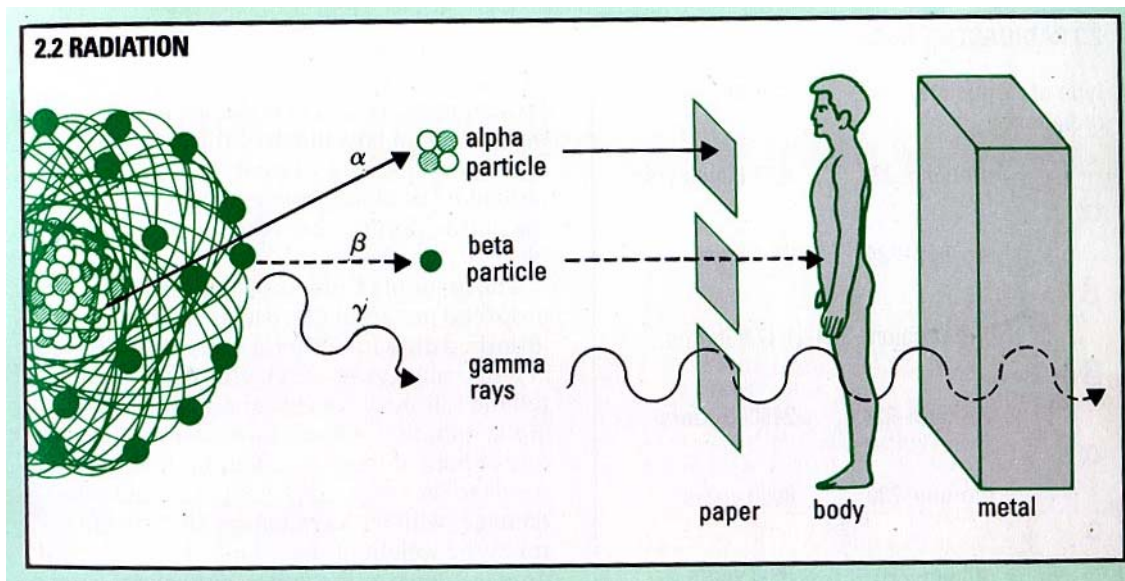


Fig.2. Penetración de los distintos tipos de radiación

## 4. Vida Media

Todos los radionucleidos son inestables, pero algunos son más inestables que otros. Por esta razón, algunos decaen más rápidamente que otros. Todos los radionucleidos tienen su propia tasa de decaimiento que los distingue. Esa tasa de decaimiento se referencia como "vida media". La vida media es el tiempo que toma en decaer a la mitad de su actividad. Después de una vida media la actividad se ha reducido a la mitad, luego de otra vida media, a 1/4 y así sucesivamente.

También podemos decir que es el tiempo que toma para que la mitad de los átomos de la muestra alcancen su estado estable.

Las vidas medias varían desde fracciones de segundo a millones de años.

**Algunos radionucleidos y sus vidas medias**

<b>Nucleido</b>	<b>Vida Media</b>	<b>Radiación</b>
Uranio-238	4.510.000.000 años	Alfa
Cobalto-60	5 años	Beta, Gamma
Fosforo-32	14 días	Beta
Tritio (Hidrogeno-3)	12,26 años	Beta
Carbono-14	5.600 años	Beta
Yodo-131	8 días	Beta, Gamma

El momento en que un núcleo radioactivo individual decae es completamente azaroso. De todas maneras, para un isótopo radiactivo dado, existe esta tasa estadística de decaimiento.

La actividad se expresa en una unidad llamada "becquerel" (Bq). 1 Bq equivale a una desintegración radioactiva por segundo.

Se acostumbra a expresar la actividades en otra unidad, el "curie" (Ci). 1 Ci equivale a  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ci} &= 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \\ 1 \text{ Bq} &= 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci} \end{aligned}$$

Por ejemplo, una muestra de plutonio-239 con una actividad de 2.000 megabecquerels (MBq) emitirá un promedio de 2.000 millones de partículas alfa cada segundo.

En la mayoría de los casos no basta con una desintegración para que un elemento inestable se convierte en otro estable. Por lo general, el nuevo elemento que resulta de la desintegración es también inestable y, al cabo de un tiempo mas o menos largo, dependiendo de su período, se desintegrará a su vez, resultando otro elemento también radioactivo, y así sucesivamente hasta una última desintegración que da un elemento estable, el plomo, en el caso de las sustancias radiactivas naturales.

### SERIE DE DECAIMIENTO DEL URANIO-238

Leer de izquierda a derecha. Las flechas indican el decaimiento.  
(La vidas medias son valores redondeados)

<b>Uranio-238 →</b> (vida media: 4,5 mil mill. años) alfa, gamma	<b>Torio-234 →</b> (vida media: 24,1 días) beta, gamma	<b>Protactinio-234→</b> (vida media: 1,2 minutos) beta, gamma
<b>Uranio-234 →</b> (vida media: 245.000 años) alfa, gamma	<b>Torio-230 →</b> (vida media: 75.000 años) alfa, gamma	<b>Radio-226 →</b> (vida media: 1.600 años) alfa, gamma
<b>Radon-222 →</b> (vida media: 3,8 días) alfa	<b>Polonio-218 →</b> (vida media: 3,1 minutos) alfa	<b>Plomo-214→</b> (vida media: 27 minutos) beta, gamma
<b>Bismuto-214 →</b> (vida media: 20 minutos) beta, gamma	<b>Polonio-214 →</b> (vida media: 160 microseg.) alfa	<b>Plomo-210 →</b> (vida media: 23 años) beta, gamma
<b>Bismuto-210 →</b> (vida media: 5 días) beta, gamma	<b>Polonio-210 →</b> (vida media: 138 días) alfa	<b>Plomo-206</b> (estable)

Según sea el elemento original, se produce una serie diferente de desintegraciones, siempre la misma, y todos los elementos así engendrados por una cascada de desintegraciones hasta llegar al plomo, forman una "familia radiactiva". En la naturaleza existen tres series o familias radiactivas: la del radio, la del actinio y la del torio.

Las reacciones nucleares permiten modificar artificialmente el núcleo de un elemento estable y obtener un isótopo radioactivo o un nuevo elemento inexistente en la naturaleza. Por ejemplo, si se expone durante cierto tiempo una masa de fósforo-31 (15 protones y 16 neutrones) estable, al flujo de neutrones existente en el seno de un reactor nuclear, los núcleos absorben un neutrón y se obtiene fósforo-32 (15 protones y 17 neutrones) que es inestable y, por lo tanto, radioactivo. A la radioactividad así generada se la denomina como "inducida" o "artificial".

El interés en la producción industrial de radionucleidos se debe a la posibilidad de generar radioelementos con vidas medias diferentes y la posibilidad de aprovechar las cualidades radiactivas y químicas de diferentes elementos. Los isótopos, radiactivos o no, de un mismo elemento, poseen el mismo comportamiento químico. Esta cualidad es aprovechada en procesos industriales y medicinales.

## 5. Radiaciones ionizantes

Los tres tipos de radiaciones descritas tienen la capacidad de ocasionar que el material a través del cual pasan se "ionice", por eso se las denomina "radiaciones ionizantes".

Esto quiere decir que al interactuar con la materia que las rodea pueden generar átomos eléctricamente cargados o sea, iones. Esto puede romper enlaces químicos o crear nuevos. Esto también ocurre dentro de las células de los organismos vivos dañándolos.

Además de las tres radiaciones descritas existen otros dos tipos de radiaciones ionizantes:

**Rayos-X:** Es similar a la radiación gamma, generalmente los rayos-X poseen menos energía. Se producen en las máquinas de rayos-x y la emisión finaliza cuando la máquina se apaga.

**Emisión de neutrones:** Se produce durante ciertos procesos nucleares como la "fisión" dentro de un reactor donde un núcleo pesado es dividido en dos y libera neutrones. Los neutrones no tienen carga eléctrica y tienen un gran poder de penetración.

## Propiedades de los tipos de radiación

**Partículas alfa:** compuesta por dos protones y dos neutrones. Es una partícula relativamente grande y pesada. Pierde su energía a medida que se mueve -y por lo tanto se detiene- por dos motivos: a) al ser una partícula cargada eléctricamente (positiva) pierde energía al interactuar con otras partículas cargadas; b) pierde energía colisionando con otras partículas.

Puede atravesar sólo pequeñas distancias en el aire y no puede atravesar la piel humana o una hoja de papel. El problema para la salud es que una sustancia que emite partículas alfa puede ser ingerida o inhalada, las partículas emitidas pueden generar un gran daño en una región focalizada de los tejidos.

**Partículas beta:** Estas poseen menos masa y se mueven más rápidamente. Tienen un poder de penetración mayor a las alfa, aunque pueden ser detenidas por una lámina de aluminio. Es una partícula eléctricamente cargada (negativa), un electrón libre. El poder de penetración depende de su energía. Puede atravesar la piel.

**Rayos gamma, rayos X y neutrones:** no tienen carga eléctrica por lo tanto pierden más lentamente su energía. Pueden viajar grandes distancias en el aire y tienen un gran poder de penetración (atraviesan el cuerpo humano).

## Efectos de la radiación ionizante

El funcionamiento de un organismo vivo está determinado por sus células. Las radiaciones ionizantes pueden romper los enlaces entre los átomos dentro de las moléculas de las células vivas. Puede también cambiar la naturaleza de los átomos mismos. Tal daño a una célula puede ocasionar su muerte o un cambio en su funcionamiento.

La radiación ionizante puede visualizarse como un transporte de energía. La interacción de esta energía con la materia ocasiona peligrosos daños.

Las células tienen la capacidad de reparar algunos daños, pero si estos son muy grandes o se producen en un sitio muy vulnerable de la estructura de la misma, pueden ser irreparables.

En general, los efectos de la radiación pueden dividirse en aquellos que afectan a los individuos que han estado expuestos a la radiación y los efectos que se transmiten a sus descendientes.

Los "efectos somáticos" son los que aparecen en los individuos irradiados. Aquí se incluye la leucemia y el cáncer. Los "efectos hereditarios" son los que aparecen en las generaciones subsecuentes.

Existen tres efectos principales que las radiaciones pueden producir en las células vivas: 1. Matar la célula; 2. Afectar la reproducción de la célula; 3. Dañar células en los ovarios o testículos, produciendo una anomalía hereditaria en la procreación.

En la mayoría de los casos, la muerte de células sólo se vuelve significativa cuando muere un gran número de células. La mayoría de los órganos contienen más células que las necesarias para mantener su funcionamiento normal. Los efectos de la muerte de células se vuelve importante en casos de grandes niveles de dosis.

Si una célula dañada es capaz de sobrevivir a la radiación, la situación es diferente. En la mayor parte de los casos los efectos de la célula dañada pueden no aparecer nunca. Una pequeña cantidad de células que no funcionen correctamente no afectará significativamente a un órgano donde la gran mayoría de las células mantienen su comportamiento normal.

De todos modos, si la célula afectada es una célula germinal dentro de los ovarios o testículos, la situación es bastante diferente. La radiación ionizante puede dañar el DNA, la molécula que actúa como el "manual" de las células. Si esa célula germinal luego engendra un niño, todas las células del niño llevarán el mismo defecto. La alteración química del DNA en una sola célula puede luego expresarse como una anomalía hereditaria en una o más generaciones.

Del mismo modo, cuando una célula del tejido vivo es modificada de tal modo que su descendiente escape del control del proceso que regula la replicación de las células, el grupo de células así formadas puede tener ventajas para crecer en relación a las células circundantes. Esto puede volverse en un cáncer detectable y en algunos casos, ocasionar la muerte por la expansión local o hacia otras partes del cuerpo.

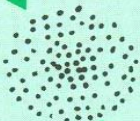
## Como la radiación afecta los tejidos



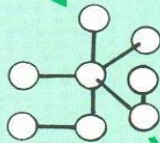
**Partículas cargadas:** cuando una partícula alfa o beta ingresa dentro de un tejido vivo, pierde energía por las interacciones eléctricas con los electrones de los átomos cercanos a su paso (los rayos gamma y x transfieren energía en otras formas, pero también derivan en interacciones eléctricas).



**Interacciones eléctricas:** durante las décimas de una trillonésima de segundo, un electrón es arrancado de un átomo. El electrón está cargado negativamente, en tanto el átomo se vuelve positivo. Este proceso es conocido como ionización. El electrón puede luego ir a ionizar otros átomos.



**Cambios físico-químicos:** tanto el electrón como el átomo ionizado son normalmente muy inestables, y durante la próxima décima de billonésima de segundo ellos estarán bajo una compleja cadena de reacciones. Esta genera nuevas moléculas, incluyendo las particularmente reactivas moléculas conocidas como "radicales libres".



**Cambios químicos:** durante la próxima millonésima de segundo estos radicales libres pueden interactuar entre sí y con otras moléculas, y, por medio de procesos no bien conocidos, conducir a cambios en moléculas que son biológicamente importantes para el funcionamiento de las células.



**Efectos biológicos:** estos cambios biológicos, que pueden ocurrir luego de segundos o décadas después de la irradiación, pueden matar células o alterarlas de modo que produzcan cáncer y daños genéticos.

## 6. Medición de la radiación

Hemos descrito que el nivel de actividad de una sustancia lo cuantificamos por el número de desintegraciones por unidad de tiempo, ya sea a través del Ci o Bq.

Debemos introducir ahora la necesidad de cuantificar la cantidad de radioactividad recibida por un cuerpo. Esto se expresa como "dosis absorbida" y la unidad de medida es el "gray" (Gy). Es la dosis de radiación que hace que un kilogramo de material absorba un joule de energía. Antiguamente se utilizaba el "rad",  $100 \text{ rad} = 1 \text{ gray}$ .

Dado que los diferentes tipos de radiación poseen diferentes niveles de energía y diferentes poderes de penetración, todas poseen diferentes potenciales de riesgo o daño.

Los rayos gamma, rayos x y neutrones poseen una peligrosidad constante ya que pueden atravesar el cuerpo humano. En tanto las partículas alfa no pueden atravesar la piel no representan un gran peligro a distancia, pero sí constituyen un enorme

peligro si el emisor se encuentra dentro del cuerpo, por ingestión o inhalación. Una vez allí es más factible que dañe los tejidos blandos internos. Las partículas beta también son muy peligrosas internamente, aunque también alcanzan a producir "quemaduras" en la piel.

Además de su poder de penetración, difieren en su poder de daño. A igual dosis de radiación, el daño producido dependerá del tipo de radiación recibida. Por ejemplo, las partículas alfa, muy pesadas, producen mayor daño a igual dosis que por radiación beta o gamma. Un gray de radiación alfa produce 20 veces más daño que un gray de radiación beta o gamma. Esta diferencia se cuantifica por medio de la "efectividad biológica relativa" de cada tipo de radiación. Es una especie de indicador del daño potencial.

Para representar esta diferencia se utiliza el "factor de calidad" el cual multiplicado por la dosis recibida no da una "dosis equivalente". Esto permite que dosis de diferentes tipos de radiación puedan ser comparadas en términos de sus potenciales efectos biológicos. Obviamente que el Factor de Calidad es sólo una aproximación ya que los conocimientos sobre los efectos de la radiación son aún incompletos.

Tipos de radiación	Factor de Calidad
rayos gamma	1
rayos x	1
partículas beta	1
neutrones térmicos	2
neutrones rápidos	10
protones	10
partículas alfa	20

La unidad de la dosis equivalente es el "sievert" (Sv). 1 sievert de radiación alfa produce tanto daño como 1 sievert de radiación beta o gamma.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times \text{Factor de Calidad}$$

Antiguamente se utilizaba el rem, 1 Sv = 100 rems.

Debido a que las diferentes partes del cuerpo son afectadas de manera diferente por la misma cantidad de radiación, se creó un factor de ponderación para calcular el riesgo global para el organismo proveniente de las exposiciones parciales.

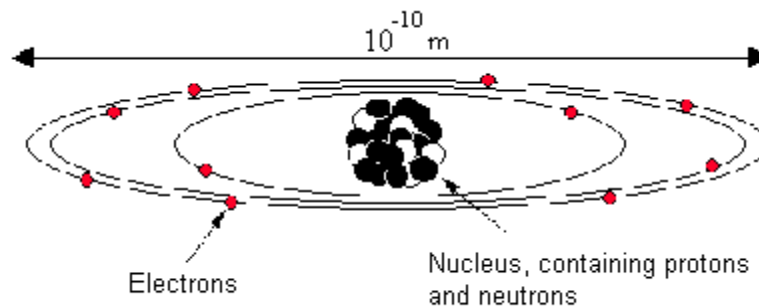
La "Dosis Equivalente Efectiva" surge de tomar en cuenta las diferentes sensibilidades a la radiación de cada órgano del cuerpo. Es la suma ponderada de las dosis equivalentes para los órganos individuales y la irradiación total del cuerpo. También se mide en sieverts.

*[Para mayor información ver Anexo III]*

## Anexo I

### El átomo

Toda la materia está compuesta por átomos. La estructura típica de un átomo es la que se muestra en la figura siguiente.



Los átomos están compuestos de tres partículas fundamentales, llamadas protones, neutrones y electrones. La siguiente tabla muestra las características de cada una de esas partículas:

Partícula	Carga	Masa	Fuerzas que actúan	Ubicación en el átomo
Protón	+1	1 uma	Culombiana, nuclear fuerte y débil	Núcleo
Neutrón	0	1 uma	Nuclear fuerte y débil	Núcleo
Electrón	-1	0,00055 uma	Coulombiana	Nube orbital

**Algunas características de las partículas fundamentales del átomo**  
(uma = unidad de masa atómica)  $1 \text{ uma} \sim 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$

El núcleo es el centro del átomo y representa casi la totalidad de la masa del átomo. El diámetro del átomo es del orden de  $10^{-10}$  m y el núcleo de  $10^{-14}$  m. Los electrones están fuera del núcleo en órbitas definidas, a veces llamadas "capas" orbitales.

## Anexo II

**Tabla periódica**

Grupos principales												Grupos principales						
1A	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A	
1 H		<b>Metales de transición</b>										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3 Li	4 Be											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
11 Na	12 Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B				1B	2B	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg							
87 Li	88 Ra	89 Ac	104	105	106	107	108	109	110	111	112							
<b>Serie de los lantánidos</b>		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tm	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
<b>Serie de los actínidos</b>		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

## Anexo III

### Múltiplos y submúltiplos de las unidades de medición

Cuando se utilizan cifras muy grandes o muy pequeñas de una cierta unidad de medida se adoptan los siguientes prefijos para indicar sus múltiplos y submúltiplos.

Múltiplo	Prefijo	Símbolo
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p

### Vida Media de algunos radionucleidos

Nucleido	Vida Media	Radiación
Uranio-238	4.510.000.000 Años	Alfa
Neptuno-237	2.200.000 Años	Alfa
Uranio-233	162000 años	Alfa
Plutonio-239	24.000 años	Alfa
Americio-243	7.370 años	Alfa, gamma
Torio-229	7.310 años	Alfa
Carbono-14	5.600 Años	Beta
Radio-226	1.622 años	Alfa
Americio-241	433 años	Alfa, gamma