



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**"EFECTO DE LAS RADIACIONES IONIZANTES
EN LOS ORGANISMOS VIVOS"**

TRABAJO ESCRITO

**PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO**

P R E S E N T A :

RAFAEL ALBERTO OSORIO MUÑOZ



MEXICO, D. F.

1992

FAA DE CIOEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE.

<u>DEDICATORIA</u>	1
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	v
<u>INDICE</u>	vi
<u>INTRODUCCION</u>	1
<u>I.- ASPECTOS BASICOS DE LA HERENCIA</u>	3
I.1.- "LO QUE VERDADERAMENTE DESCUBRIO MENDEL".....	3
I.1.1.- LEY DE LA SEGREGACION.....	3
I.1.2.- LEY DE LA SEGREGACION INDEPENDIENTE.....	4
I.1.3.- UN RAZONAMIENTO.....	5
<u>II.- RADIACION</u>	8
A.- DIRECTAMENTE IONIZANTE.....	8
B.- INDIRECTAMENTE IONIZANTE.....	8
II.1.- CLASIFICACION ARBITRARIA DE LA RADIACION.....	8
II.2.- RADIATIVIDAD NATURAL.....	9
A.- RADIACION COSMICA.....	9
B.- FUENTES EXTERNAS.....	9
C.- RADIACION DEL AIRE.....	9
D.- RADIACION INTERNA.....	10

E.- ISOTOPOS RADIOACTIVOS NATURALES.....	10
F.- SERIES DE CADENAS RADIOACTIVAS.....	10
G.- NUCLIDOS NATURALES.....	11
II.3.- RADIOACTIVIDAD ARTIFICIAL.....	11
II.4.- PROPIEDADES DE LA RADIACION.....	12
<u>III.- DOSIS DE RADIACION Y CONSECUENCIAS.....</u>	<u>13</u>
III.1.- MAGNITUD DEL DAÑO BIOLÓGICO.....	14
III.2.- EFECTIVIDAD BIOLÓGICA RELATIVA.....	14
III.3.- DOSIS LETAL DL 50/30.....	16
<u>IV.- RADIOSENSIBILIDAD DE DIFERENTES ORGANOS Y ORGANISMOS.....</u>	<u>17</u>
IV.1.- EFECTO DE LA RADIACION EN DIFERENTES ORGANOS Y ORGANISMOS.....	17
IV.2.- DOSIS LETAL DL 50/30 EN VARIOS ORGANISMOS.....	18
IV.3.- TEJIDOS COMUNES EN ORDEN DECRECIENTE DE RADIOSENSIBILIDAD.....	19
LEY DE BERGONIE Y TRIBONDEAU.....	19
<u>V.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACION IGNIZANTE.....</u>	<u>20</u>
V.1.- EFECTOS SOMATICOS. DEFINICION.....	21
V.1.1.- Factores Fisicos Importantes en la Determinación de los Efectos Somáticos.....	21

V.1.2.- Efectos Somáticos Importantes Causados a Algunos Organos y Tejidos del Cuerpo.....	22
V.1.3.- Efectos Somáticos de la Radiación.....	26
V.1.4.-Efectos de Dosis de Radiación Observados en las Manos....	28
V.2.- EFECTOS DE DOSIS BAJAS DE RADIACION.....	29
V.2.1.- Agentes Radioprotectores.....	30
V.2.2.- Factor de Riesgo de Mortalidad.....	30
V.3.- EFECTOS ESTOCASTICOS Y NO ESTOCASTICOS.....	31
V.3.1.- Efectos Estocásticos.....	31
V.3.2.- Efectos No Estocásticos.....	31
V.3.3.- Reglas de Protección.....	31
V.3.4.- Experimentos con Animales.....	32
V.4.- EFECTOS HEREDITARIOS.....	33
V.4.1.- Efectos Genéticos de la Radiación.....	34
V.5.- EFECTOS TARDIOS.....	36
V.5.1.- Neoplasias.....	36
V.5.2.- Efectos Tisulares.....	36
V.5.3.- Crecimiento y Desarrollo.....	37
<u>VI.- SUSTANCIAS RADIOMIMETICAS.....</u>	<u>38</u>
VI.1.- SUSTANCIAS RADIOMIMETICAS TIPICAS.....	38
VI.2.- RADIACION QUIMICA EQUIVALENTE.....	39

<u>VII.- DOSIMETRIA.....</u>	40
VII.1.- DOSIMETROS DE REFERENCIA.....	41
VII.2.- DOSIMETROS DE RUTINA.....	41
<u>VIII.- APLICACION DE LOS EFECTOS GENETICOS EN PLANTAS.....</u>	44
<u>IX.- APLICACIONES BIOLÓGICAS Y BIOTÉCNICAS.....</u>	46
IX.1.- TERAPIA CON RADIACIONES.....	46
IX.2.- ESTERILIZACION DE ALIMENTOS.....	46
IX.2.1.- Pasteurización con Radiaciones.....	47
LISTA DE ALIMENTOS DEPURADOS CON RADIACION EN DIFERENTES PAISES.....	48
IX.3.- OTROS USOS.....	55
IX.3.1.- Esterilización de Equipo Médico.....	55
IX.3.2.- Tratamiento de Lodos Residuales.....	55
IX.3.3.- Esterilización de Insectos.....	55
<u>X.- NORMAS DE PROTECCION RADIOLOGICA.....</u>	56
X.1.- LIMITES DE DOSIS DE RADIACION. DOSIS MAXIMA PERMISIBLE PARA ADULTOS (DMP).....	56
X.2.- LIMITES DE DOSIS ANUAL EQUIVALENTE, H ₁ ICRP (1977).....	57

X.3.- DOSIS MAXIMA PERMISIBLE DE RADIONUCLIDOS EN CUERPO ENTERO (MPBB). CONCENTRACION EN AIRE Y AGUA (MPC) PARA 168 HORAS/SEMANA.....	58
X.4.- RADIOTOXICIDAD DE LOS ELEMENTOS EN ORDEN DECRECIENTE.....	59
<u>XI.- MEDIDAS DE PROTECCION Y SEGURIDAD.....</u>	<u>60</u>
XI.1- DETECCION DE LA RADIACION.....	61
XI.2.- PREPARACION PARA CASOS DE EMERGENCIA.....	62
XI.3.- MEDIDAS DE PROTECCION.....	63
XI.4.- PROTOTIPO DE REGLAMENTO INTERNO EN UN LABORATORIO DE RADIOQUIMICA.....	64
XI.5.- CALCULO DE BLINDAJES.....	65
XI.5.1.- Blindaje para Radiación Alfa.....	65
XI.5.2.- Blindaje para Radiación Beta.....	66
XI.5.3.- Blindaje para Radiación Gamma.....	66
XI.5.3.1.- Blindaje Gamma Capa Hemi-Reductora.....	66
XI.5.4.- Blindaje para Neutrones.....	67
<u>XII.- CONCLUSIONES.....</u>	<u>68</u>
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>69</u>

INTRODUCCION.

1

Aunque la exposición a la radiación ionizante proveniente del espacio y de los elementos radiactivos naturales en el medio ambiente ha sido compañera del hombre desde su existencia, no fué sino hasta el descubrimiento de los rayos X (en 1895) en que los efectos de la radiación ionizante empezaron a ser conocidos.

Muchos accidentes graves han ocurrido como resultado del uso de la radiación, hasta antes de que un adecuado conocimiento de sus efectos biológicos diera origen a la formulación de reglas de protección a las personas ocupacionalmente expuestas.

Hasta el año de 1922 habían muerto 200 radiólogos (no pacientes) como resultado de daños biológicos por radiación. un ejemplo famoso de daños, fué el manejo descuidado de sustancias radiactivas que dió como resultado, muertes de trabajadores, cuya ocupación consistía en pintar carátulas de relojes luminosos con sales de radio. Tenían la costumbre de "afilarse" la punta de los pinceles con los labios y la lengua, y como resultado, después de un periodo de tiempo, acumulaban considerable cantidad de radio en sus cuerpos, que daba origen al incremento en la incidencia de cáncer.

La radiación representa un peligro para los sistemas biológicos. En el uso de la radiación, el grado de peligro esta relacionado directamente con la falta de un conocimiento adecuado de su uso. El peligro puede ser minimizado con precauciones adecuadas y medidas de seguridad. De hecho, como la radiactividad puede ser detectada en cantidades extremadamente pequeñas, los riezos químicos y bilógicos son generalmente un problema menor en un laboratorio de Química o de Radioquímica, en donde las reglas de seguridad sean seguidas adecuadamente.

I.- ASPECTOS BASICOS DE LA HERENCIA.

I.1.-"LO QUE VERDADERAMENTE DESCUBRIO MENDEL".

El monje austriaco Gregorio Mendel postuló sus célebres leyes sobre el comportamiento de ciertos rasgos hereditarios en una publicación del año de 1865. La comunicación científica había sido hecha en una revista de poca circulación, y es muy probable que ni aún el mismo Mendel haya alcanzado a concebir la importancia tan grande de su descubrimiento.

Las conclusiones mendelianas, obtenidas tras varios años de estudio con el chícharo, pasaron desapercibidas para la Ciencia hasta el año de 1900, fecha en que fueron "redescubiertas" por tres investigadores en forma independiente: el holandés Hugo de Vries, el alemán Carl Correns y el austriaco Erich Tschermak.

Las leyes se refieren al comportamiento de los caracteres hereditarios que se encuentran regidos por una sola pareja de genes iguales, uno situado en un cromosoma y el otro situado en el cromosoma homólogo, y son principalmente dos:

I.1.1.- LEY DE LA SEGREGACION. Los caracteres (genes) se separan uno de otro cuando se forman los gametos, de tal modo que uno va a un gameto y el otro va al otro gameto. Es precisamente la primera división meiótica la que expresa, a nivel cromosómico, el enunciado de esta ley.

1.1.2.- LEY DE LA SEGREGACION INDEPENDIENTE. Los caracteres (nuevamente los genes) considerados en conjunto, se separan independientemente unos de otros al formarse los gametos.

En esa época, las ideas que prevalecían eran las de Jean Baptiste de Lamarck, que suponía que los caracteres hereditarios se mezclaban en los hijos con idéntica influencia. Según esto, una pareja de conejos, digamos uno blanco y otro negro, tendrían descendencia color gris (intermedio entre blanco y negro).

Mendel, como se mencionó atrás, trabajó muchos años en una gran hortaliza donde cultivaba chícharos. Lo primero que hizo, en sus investigaciones, fue lograr líneas puras de los mismos, es decir, consiguió que de plantas altas, siempre se obtuvieran plantas altas; y que de plantas bajas, siempre se obtuvieran plantas bajas.

Cuando Mendel se aseguró de que tenía ya líneas puras, seleccionó a plantas de tallo alto y las cruzó con plantas de tallo pequeño: de acuerdo a las teorías de Lamarck, un resultado lógico en el diseño de Mendel habría sido encontrar que el 100% de las plantas fueran de tallo intermedio, es decir: ni muy altas ni muy bajas.

Las ideas de Jean Baptiste de Lamarck no fueron ratificadas por la realidad, puesto que Mendel halló que el 100% de las plantas fueron altas. Mendel supuso entonces, que lo que hacía que la planta fuese alta (los hoy llamados genes) era más fuerte que lo que hacía que la planta fuese de tallo bajo. Nació así el concepto de la Dominancia y la Recesividad: dominante, como el "tallo alto" y recesivo como el carácter "tallo bajo".

Mendel guardó cuidadosamente las semillas hijas de la primera cruce y combinó éstas entre sí. Halló sorprendentemente que una cuarta parte de ellas (aproximadamente) eran nuevamente de tallo corto. Era indudable que la habilidad para procrear una planta de tallo bajo había permanecido guardada dentro de los granos hijos de la primera cruce de plantas, aún cuando todas estas eran de tallo alto. Mendel concluyó que lo que hacía a una planta alta o baja eran "algunos" (hoy genes) que se mezclaban en la descendencia con cierto rigor matemático. A resultados de su análisis enunció la primera ley, sosteniendo que los caracteres que posea un progenitor, se separaban uno de otro al formarse los gametos.

I.1.3.-UN RAZONAMIENTO.- Que puede ser de utilidad, para entender más claramente el mecanismo, es el siguiente:

- 1.- Las plantas, ya sean altas o bajas, tienen dos caracteres (es decir dos genes) que hacen una misma función o que confieren un mismo aspecto.

- 2.- Las líneas "puras" aseguran que los dos genes que poseen las plantas para ser altas o bajas, son iguales.
- 3.- En estas condiciones, los gametos de una planta alta de línea "pura" llevan siempre un gen alto, y los gametos de una planta baja, también de línea "pura" llevan siempre un gen bajo.
- 4.- Las plantas de la primera generación, hijas de una cruzar planta alta X planta baja, poseen un gen alto y un gen bajo, son altas porque el primero domina al segundo.
- 5.- Una planta alta, híbrida, tiene en su interior en realidad dos genes: uno alto y uno bajo, al formarse los gametos de ellas, el caracter alto se separa del caracter bajo.
- 6.- En estas condiciones, independientemente. la mezcla de dos plantas híbridas da una proporción 3:1 altas/bajas.
- 7.- En lo que se puede decir que es la deducción de la segunda Ley de Mendel, utilizó plantas de chícharos que diferían no en un sólo caracter, como las anteriores (estatura de plantas), sino en dos. Combinó precisamente el tamaño de la planta con el color del grano.

El primer paso, desde luego, fué la obtención de líneas puras de plantas que eran altas y de tallo amarillo y que daban siempre descendientes iguales, y obtuvo, también, plantas que eran bajas y de tallo verde. Mendel sabía además que el color amarillo dominaba al verde.

En la primera generación, todas las plantas fueron altas y amarillas, pero al cruzar éstas entre sí, los tipos de gametos expresados fueron cuatro y no dos.

Los 16 tipos de plantas formadas se presentaron en la siguiente proporción: 9 fueron altas y amarillas, 3 altas y verdes, 3 más bajas y amarillas 1 bajas y verdes. (9:3:3:1).

Como se ve, se han mezclado los cuatro caracteres de manera independiente unos de otros y han aparecido combinaciones de plantas que no existían antes (altas-verdes y bajas-amarillas).

Por lo tanto se puede apreciar que el caracter alto no tuvo dependencia del caracter amarillo, así mismo, el caracter bajo no tuvo dependencia del caracter verde. Si hubieran sido dependientes, las plantas altas hubieran sido necesariamente verdes. Así, los genes en los descendientes tienen "conductas" individuales.

El mérito de Mendel es haber imaginado las combinaciones anteriores, encontrando la proporción 9:3:3:1 en este último experimento.

II.- RADIACION.

Es la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material en forma de ondas electromagnéticas, corpusculares o de rayos cósmicos.

Para propósitos de clasificación de la radiación, se puede dividir de la siguiente forma:

- A.- DIRECTAMENTE IONIZANTE.- Incluye a todas las partículas cargadas: e-, α , β , etc..
- B.-INDIRECTAMENTE IONIZANTE.- Incluye a las radiaciones sin carga: n, γ , etc..

II.1.- CLASIFICACION ARBITRARIA DE LA RADIACION.

GRUPO:			PROTOTIPO:
1	Partículas Pesadas:	α , t, d, p	α
2	Partículas Ligeras:	β^- , β^+ , e-	β^-
3	Electromagnética:	rayos X, rayos γ	rayos γ
4	Neutrones:	n	lentos
	4.1 Lentos	0 - 1 000	eV
	4.2 Térmicos	0.025	eV
	4.3 Intermedios	1.0 - 500	keV
	4.4 Rápidos	0.5 - 10	MeV
	4.5 Energéticos	> 10	MeV

II.2.- RADIATIVIDAD NATURAL.

En el curso de su vida, el hombre esta constantemente expuesto a la radiación ionizante de una gran variedad de fuentes. En el cuadro siguiente se muestra la dosis de radiación de fuentes naturales:

	mrem/año
A.- RADIACION COSMICA:-----	30 - 50

B.- FUENTES EXTERNAS:

Suelo - Arcilla:-----	50
Rocas No Graníticas:-----	60 - 120
Granito:-----	80 - 300
En Casas de Madera:-----	50 - 60
En Casas de Ladrillo:-----	100 - 110
En Casas de Concreto Ligero:-----	100 - 200

C.- RADIACION DEL AIRE:

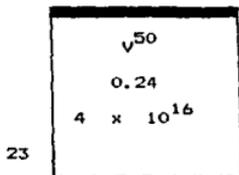
	Valor Promedio	
Fuera de las Casas:	(0.1 pCi Rn/l)	20
En Casas de Madera	(0.5 pCi Rn/l)	70
En Casas de Ladrillo	(0.9 pCi Rn/l)	130
En Casas de Concreto Ligero	(1.9 pCi Rn/l).	260

D.- RADIACION INTERNA:

	Valor Promedio	mrem/año
K ⁴⁰	(1.1 x 10 ⁻⁷ Ci)	1.5
C ¹⁴	(8.0 x 10 ⁻⁸ Ci)	1.0
Ra	(1.2 x 10 ⁻¹⁰ Ci)	1.0
Agua	< 0.1 pCi/l	
Agua de Deshecho	100 pCi/l	
Ingesta Diaria de Alimentos	0.5 - 5.0 pCi Ra ²²⁶	

E.- ISOTOPOS RADIATIVOS NATURALES.

Existen 27 isótopos radiactivos naturales con vidas medias muy largas. En la carta de los núclidos se presentan de la forma siguiente:



En donde:

V = Símbolo del Vanadio

50 = Masa Atómica

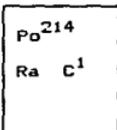
4 x 10¹⁶ = Vida Media en años.

23 = N^o Atómico.

F.- SERIES DE CADENAS RADIATIVAS.

Ejemplo:

84



Símbolo y Número de Masa

Símbolo Antiguo

Número Atómico.

6.- NUCLEIDOS RADIOACTIVOS NATURALES.

Cada núcleo radioactivo natural es miembro de una de 3 familias radiactivas, que se extiende hasta la última parte de la tabla periódica.

SERIE DEL:	PERIODO DE VIDA MEDIA: (AÑOS)	PARTICULAS	AL FINAL:
${}_{92}\text{U}^{238}$	4.5×10^9	$4n + 2$	Pb^{206}
${}_{92}\text{U}^{235}$	8.5×10^8	$4n + 3$	Pb^{207}
${}_{90}\text{Th}^{232}$	1.39×10^{10}	$4n$	Pb^{208}
${}_{93}\text{Np}^{237}$	2.1×10^6	$4n + 1$	Bi^{209}

Se estima que un hombre de 70 Kg de peso emite:

140 000	dpm	por	C^{14}
280 000	dpm	por	K^{40}
<u>40 000</u>	dpm	por	Ra^{226}
460 000	dpm.		

II.3.- RADIATIVIDAD ARTIFICIAL.

1.- Esta formada por isótopos radiactivos artificiales de los cuales existen aproximadamente 1580.

Pt^{180} 52 seg α 5.14

Símbolo y N^0 de Masa
 Vida Media Radiactiva
 Emisión. Energía en MeV
 N^0 . atómico.

78

2.- También la producida por máquinas inventadas por el hombre:

- Reactores Nucleares.
- Generadores.
- Aceleradores.
- Fuentes de Neutrones.
- Máquinas de Rayos X.
- Reacciones Nucleares.

II.4.- PROPIEDADES DE LA RADIACION.

Simb.	Energía	Masa	Carga	Veloc.	Long. de Trayectoria		Rango
<u>Sigla</u>	<u>MeV</u>	<u>uma</u>	<u>SigHQ</u>	<u>Km/seg</u>	<u>aire</u>	<u>agua</u>	<u>mater.</u>
α	2-9	4	+2	20 000	2-8 cm	20-100 μ	Empírica
β	2-3	0.0005	-1	290 000	0-10cm	0-1 mm	"
γ	0.01-10	0	0	300 000	-100 m	-10 cm	Exponen
n	0-14	1	0	aprox.2	-100 m	- 1 m	"

III.- DOSIS DE RADIACION Y CONSECUENCIAS.

Sin que importe el tipo de radiación, la cantidad de radiación necesaria para producir un efecto biológico observable es pequeña.

La cantidad suficiente para causar la muerte en mamíferos resultaría en un aumento en la temperatura corporal en menos de 0.01°C . difícilmente detectable. Tal aumento en la temperatura sería el resultado de la conversión de energía radiante a energía térmica y es solamente un síntoma, no una causa, del daño por radiación.

La energía de la radiación es disipada durante el paso a través del organismo en la misma forma que en cualquier material, por ionización y excitación de átomos ó moléculas. En un sistema biológico la ionización produce daño directamente por ruptura de enlaces químicos en las células.

La interacción de la radiación con el agua dentro y fuera de una célula produce radicales libres que dañan a la célula produciendo reacciones de óxido-reducción.

III.1.- MAGNITUD DEL DAÑO BIOLÓGICO.- Depende de muchos factores tales como:

- 1.- Tipo y Energía de la Radiación.
- 2.- Velocidad de Administración.
- 3.- Órgano del Cuerpo Irrradiado.
- 4.- Edad y Estado de Salud del Individuo.

Es de particular importancia si la fuente de radiación está en el exterior (radiación externa) o en el interior (radiación interna) del organismo.

La radiación externa más dañina al hombre son los rayos γ y los rayos X, por su alto poder de penetración. La radiación α no es peligrosa externamente, porque solamente puede penetrar la parte insensible de la piel, pero, es la más peligrosa como fuente interna.

III.2.- EFECTIVIDAD BIOLÓGICA RELATIVA (EBR).

Para tomar en cuenta la magnitud de un efecto biológico de diferentes radiaciones, se emplean los siguientes términos: Efectividad Biológica Relativa (valor EBR) y el Factor de Calidad (valor Q). Esto ha originado la definición de dos nuevas cantidades:

- 1.- Dosis EBR (en rem) = Dosis EBR (en rad)
- 2.- Dosis Equivalente Hombre (H)

Siendo:

$$H \text{ (en Sv)} = D \times Q \times N$$

Donde:

D = Dosis en rad 1 Sv (Sievert) = 10 J/Kg = 100 rem

Q = Factor de Calidad

N = Factores Modificantes

Los N deben ser tomados en cuenta en trabajos prácticos de protección contra la radiación, por ejemplo Radiosensibilidad e Importancia Fisiológica de los diferentes órganos, etc.. Actualmente $N = 1$ (ICRP, 1977); por lo tanto:

$$EBR = Q$$

En el cuadro siguiente se presentan los valores Q (EBR) para diferentes tipos de radiación y la dosis equivalente para dosis de radiación absorbida específica, para $N = 1$.

Valor Q (EBR)	Dosis de Radiación Absorbida o fluencia de neutrones.	Dosis Equivalente (Dosis EBR)
1	$\alpha, \gamma, \beta, 16v$ (100 rad)	1 Sv (100 rad)
2	e^- de alta energía	2 " (200 rad)
3	n^0 térmicos $10^{11}/cm$	1 " (100 rad)
10	n^0 rápidos (1 MeV) $3 \times 10^9/cm^2$	1 " "
20	natural: 1 Gy (100 rad)	20 " (2 000 rad)
20	iones de alta energía: 1 Gy	20 " "

Observando el cuadro anterior, es notorio que la radiación α es la más dañina a las células, ocasiona una ruptura de la molécula de ADN (Acido Desoxirribonucleico). Por otra parte, un rayo γ puede pasar por el cromosoma (que está formado por alrededor de 10^9 moléculas de ADN) sin causarle daño o aberración (cambio estructural). Sin embargo, cualquier tipo de radiación sea α , β o γ , produce radiólisis del agua en la célula y los productos pueden reaccionar con el ARN (Acido Ribonucleico), con el ADN ó ambos, en tal magnitud que puede morir la célula.

Para una dosis absorbida de 100 Gy (10^4 rad) el número de moléculas destruidas es del 1.6% para un peso molecular de 10^6 (que es el peso molecular del ADN). Como un cromosoma humano contiene 3×10^9 moléculas de ADN, una dosis tal, da como resultado, la muerte de la célula.

111.3.- DOSIS LETAL DL 50/30.

Es la dosis requerida para matar al 50% de animales de experimentación, de una determinada especie, irradiados, dentro de los 30 días siguientes a la exposición.

IV.- RADIOSENSIBILIDAD DE DIFERENTES ORGANOS Y ORGANISMOS.

IV.1.- EFECTO DE LA RADIACION EN DIFERENTES ORGANOS Y ORGANISMOS.

EFECTO	RADIACION
MICROORGANISMOS.	
	(rad)
Inactivación de Enzimas	$> 2 \times 10^6$
Inactivación de Virus (secos)	$3 \times 10^4 - 5 \times 10^5$
Inactivación de Bacterias	$2 \times 10^3 - 1 \times 10^5$
Inactivación de Células Humanas	≥ 100
PLANTAS.	
	(rad/día)
Flores. Sobreviven a:	1 000
Arboles. No sobreviven a:	100
Arboles. Normalmente sobreviven a:	2
ANIMALES. DL 50/30	
	(rad)
Amibas	100 000
Mosca de la Fruta	$\geq 60 000$
Peces	2 300 - 20 000
Tortuga	2 300 - 29 000
Conejo	600
Mono	600
Hombre	250 - 450
Ferroc	350
Rata	600

IV.2.- DOSIS LETAL DL 50/30 EN VARIOS ORGANISMOS.

ORGANISMO	RADIACION	DL 50 (rem)
Cerdo	RX	350 - 400
Cerdo	R γ	600
Perro (canis familiares)	RX	335
Cabra	RX	350
Burro	R γ	580 - 785
Ratón	RX	550 - 665
"	Neutrones Rápidos (NR)	54 NR
"	R α (Radón)	14 Ci/g
"	R β	250 Ci/g
Conejo	RX	750 - 825
Gallina	RX	600 - 800
Pez dorado	RX	670
Rana	RX	700
Salamandra	RX	3 000
Tortuga	RX	1 500
Serpiente	RX	5 600
<u>Escherichia coli</u>	RX	5 600
Levadura	RX	30 000
Amiba	RX	100 000
Bacilos Mesentéricos	RX	150 000
<u>Colpidium paramecium</u>	RX	300 000
Infusorios	RX	350 000
Protozoarios	R γ	$10^5 - 3 \times 10^6$
Virus	R γ (inactivación)	$10^7 - 2 \times 10^7$

IV.3.- TEJIDOS COMUNES EN ORDEN DECRECIENTE DE RADIOSENSIBILIDAD.

- 1.- TEJIDO LINFATICO: Particularmente los linfocitos (una extirpe de los globulos blancos) de la sangre, que aseguran la defensa contra las infecciones y la vigilancia inmunitaria.
- 2.- CRISTALINO DE LOS OJOS: Enfatizándose que los tejidos muy jóvenes o en desarrollo son apreciablemente más sensibles que los adultos.
- 3.- CELULAS QUE REVISTEN EL CANAL GASTROINTESTINAL.
- 4.- CELULAS DE LAS GONADAS: Los testiculos son más sensibles que los ovarios.
- 5.- PIEL: Particularmente la porción alrededor de los folículos capilares.
- 6.- CELULAS ENDOTELIALES: Las que forman los vasos sanguíneos y el peritoneo.
- 7.- EPITELIO HEPATICO Y SUPRARRENAL: Glándulas.
- 8.- OTROS TEJIDOS: Incluyen huesos, músculos y nervios. en éste orden.

LEY DE BERGONIE Y TRIBONDEAU.

Estudiando los efectos de los rayos X en las células irradiadas, en el año de 1904, establecieron que: " Mientras más sencilla es una célula, es más sensible a la radiación ".

Como dato bibliográfico, J. L. Bergonie murió de cáncer en 1906, solo dos años después, por efecto de los rayos X.

V.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE.

La célula se compone de varios elementos: Hidrógeno, Oxígeno, Carbono, y Nitrógeno, principalmente. Aquella consta de un núcleo rodeado por citoplasma y ambos contenidos en una membrana.

El núcleo y el citoplasma están constituidos aproximadamente por 70% de agua, siendo el núcleo la parte vital de la célula, ya que controla todas las funciones vitales celulares.

Una gran cantidad de sustancias puede ocasionar daño a la célula, entre ellas la radiación ionizante. Cuando la radiación pasa a través de la célula viva puede ionizar o excitar átomos y moléculas en su estructura. Estos cambios afectan a las fuerzas de enlace de las moléculas y pueden ocasionar rupturas de éstas, quedando algunas partículas cargadas llamadas iones y/o radicales que son químicamente inestables, y reaccionan con el agua celular.

El efecto total de daño a los procesos celulares está en función a la dosis de radiación recibida. Los procesos celulares se pueden ver afectados en varios grados que pueden llevar inclusive hasta la muerte celular. Algunos daños pueden ser reparados, ya bien sea por la célula misma o por el proceso de otras células del mismo tejido. Sin embargo, si el daño es muy extenso puede ser muy posible que no sea reparado.

Las células que son más activas en su propia reproducción, y aquellas que tienen un alto rango metabólico, es decir, muchos cambios químicos intercelulares, son más susceptibles a la radiación.

V.1.- EFECTOS SOMÁTICOS. DEFINICION.

Los efectos somáticos en el hombre y los animales se pueden definir en términos de irradiación parcial o total del organismo, haciendo referencia al daño de un órgano específico.

V.1.1.- Factores Físicos Importantes en la Determinación de los Efectos Somáticos.

- 1.- Naturaleza y tipo de la radiación.- Algunos tipos de radiación son "más efectivos" en producir daño.
- 2.- Dosis absorbida.- Esta es una función de la energía captada por gramo de tejido.
- 3.- Distribución de tiempo.- Una dosis letal dada puede no ser letal si el periodo de exposición es corto.
- 4.- Distribución de dosis.- Depende si la exposición es en todo el cuerpo o solo en algún órgano específico.

V.1.2.- Efectos Somáticos Importantes Causados a Algunos Organos y Tejidos del Cuerpo.

- 1.- Sangre y Médula Ósea.- La sangre esta compuesta por tres diferentes tipos de células: Eritrocitos, Leucocitos y Plaquetas suspendidas en un liquido llamado Plasma. Los leucocitos son las primeras células en ser afectadas por la radiación. esta reduce el número de ellos ocasionando leucopenia. En casos de radiación severa disminuyen en su numero dentro de la primera semana. Pocas semanas después una pérdida de eritrocitos ocasiona un estado de anemia. Puede haber recuperación si el daño a la médula ósea no fue severo.

- 2.- Sistema Linfático.- Consiste de pequeños tubos que a través de la linfa limpia de desechos a todo el organismo. El bazo, que contiene la mayor cantidad de tejido linfático, filtra a la sangre de eritrocitos muertos o dañados, y es una fuente de linfocitos. Los nódulos linfáticos muestran los primeros signos de infección y hemorragia después de una irradiación aguda. El bazo puede perder peso y ocasionar destrucción de células sanguíneas.

- 3.- Tracto Digestivo.- Su radiosensibilidad varía grandemente. El intestino delgado es muy sensible, mientras que el estómago y el esófago lo son menos. Los principales síntomas de daño son náuseas y vómito. Puede presentarse descamación de células del esófago, así como ulceraciones del mismo y del intestino.

En casos extremos, la infección, la falta de absorción de alimento y la deshidratación por diarrea, son las causas de la muerte.

- 4.- Organos Reproductores.- Como son la fuente de las células germinales, el daño puede resultar en defectos hereditarios y somáticos. Si la dosis es suficientemente alta, puede haber esterilidad. Se requiere una mayor dosis en el hombre que en la mujer para producir esterilidad permanente. En la mayoría de los casos la dosis requerida se encuentra en el nivel de la dosis letal. En el hombre una esterilidad parcial puede inducirse con dosis alrededor de 150 rad.

Las células germinales supervivientes pueden transmitir cualquier cambio genético causado por la radiación, por esta razón, el efecto total de la radiación sobre las gónadas puede no verse reflejado sino hasta después de varias generaciones.

- 5.- Sistema Nervioso.- La médula espinal y los nervios periféricos son más sensibles de lo que usualmente se supone, el efecto es alterar la función más que la estructura, a dosis cercanas a la DL 50. A dosis superiores, puede haber daño cerebral directo o a través del aporte de oxígeno por daño a los capilares sanguíneos.

6.- Glándula Tiroides.- Es radiorresistente a la radiación externa, pero puede ser severamente dañada por inhalación de Yodo-Radiactivo, pues éste se puede concentrar en dicha glándula, y producir una disminución en la producción de la tiroxina, lo que provocaría una baja en el metabolismo del cuerpo. El tejido muscular se encontraría impedido para absorber suficiente oxígeno y se manifestaría un decaimiento general.

7.- Ojos.- El Cristalino del ojo es altamente susceptible al daño irreversible por irradiación, siendo sus células irremplazables. La retina es menos sensible que el cristalino. El cristalino se torna opaco y se forman "cataratas". éste es un efecto somático tardío. Los efectos agudos en otras estructuras oculares pueden presentarse solamente si hay exposición a altas dosis. Los neutrones son más efectivos que los rayos X para producir cataratas, pero con solo 200 rad de una mezcla de rayos γ y neutrones, se ha reportado opacidad en el cristalino. También la edad es importante, la gente joven es más susceptible.

8.- Pulmones.- El efecto producido por la radiación en los pulmones se presenta por daño en los alveólos. Los pulmones normalmente no son afectados por la radiación externa. Como en el caso de la tiroides el daño mayor se debe a la radiación interna por el polvo y los vapores inhalados.

- 9.- Hígado y Vesícula Biliar.-Comparado con otros órganos el hígado es radiorresistente. También la vesícula biliar es poco afectada. El mayor daño es causado por exposición interna por los radioisótopos, los cuales se concentran en el hígado.
- 10.- Riñones.- El daño al riñon se manifiesta por un incremento de aminoácidos en la orina, y es causado por radiación interna. La aparición de sangre en la orina es un indicativo de daño renal severo.
- 11.- Sistema Circulatorio.-El corazón y el sistema venoso-arterial solamente son dañados seriamente en caso de exposición a radiaciones muy altas.
- 12.- Piel.- Es fácilmente dañada, pero tiene una tremenda capacidad de reparación. Las variadas estructuras de la piel tienen diferente sensibilidad. El daño parece ser más grande a menor penetración de la radiación. Un daño ligero resulta en eritemas. Un efecto tardío de una irradiación crónica a dosis altas puede llegar a manifestarse como cáncer de piel.

V.1.3.- EFECTOS SOMÁTICOS DE LA RADIACION.

Una dosis instantánea a cuerpo entero, en el curso de un día, de más de 1 000 rem, ocasiona la muerte dentro de las 24 horas siguientes por destrucción del sistema neurológico.

Con 750 rem se ocasiona la muerte por sangrado gastrointestinal dentro de varios días y hasta un mes, dependiendo de la atención médica.

Para dosis entre estos dos niveles, se requiere de hospitalización con cuidado intensivo para sobrevivir.

Dosis menores de 150 rem, raramente son letales.

Para dosis menores de 50 rem, el único efecto probado es el decremento en leucocitos (leucopenia). El valor umbral para que se note un efecto somático en periodos cortos de irradiación, es de alrededor de 25 rem.

Dosis instantáneas de alrededor de 25 rem ocurren en explosiones con armas atómicas, incidentes en reactores nucleares, o en trabajo descuidado con aceleradores, equipos de rayos X o en instalaciones radiactivas como fuentes de Co^{60} empleadas con propósitos terapéuticos. (Ver el siguiente cuadro).

DOSIS DE EXPOSICION

Roentgen*

EFECTOS A CORTO PLAZO.

(Accidentes)

0 - 25	No hay lesión aparente.
25 - 50	Cambios posibles en la sangre sin lesiones serias.
50 - 100	Cambios en células sanguíneas Lesiones parciales sin incapacidad. Recuperación en semanas.
100 - 200	Lesiones. Posible incapacidad.
200 - 400	Lesiones e incapacidad. Posible muerte.
>400	DL 50. Fatal en un 50%.
600	DL. Fatal entre 30 y 60 días.
5 800	DL 100. Incapacidad casi inmediata. Muerte antes de 7 d.

* 1 Roentgen. - Unidad de dosis de exposición.

El tipo más común de sobreexposición, en el trabajo con radiaciones, es el de altas dosis instantáneas en las manos. (Ver Cuadro).

V.1.4.- EFECTOS DE DOSIS DE RADIACION OBSERVADOS EN LAS MANOS.

DOSIS (Gy)*	EFEECTO OBSERVADO
<2	Ningún efecto probado.
4	Eritema. Despellejamiento. Muerte de folículos.
5 - 7	Enrojecimiento de la piel después de varias horas, que luego disminuye, de 12 - 14 horas y finalmente desaparece dejando pigmentación.
>8.5	Igual que en el caso anterior, pero es notorio una degeneración de la piel. No hay cicatrización.

* 1 Gy = 100 rad. Dosis absorbida.

Las dosis requeridas para producir un daño depende del tiempo de exposición del órgano. Una dosis que es letal en humanos en un periodo muy corto de tiempo, puede ocasionar unos cuantos síntomas, si se reparte en el periodo de vida del individuo.

V.2.- EFECTOS DE BAJAS DOSIS DE RADIACION.

Los efectos biológicos de la radiación en células que están directamente involucradas en el funcionamiento de órganos (hígado, sistema nervioso, células de médula ósea, etc.) se llaman somáticos y están limitados al órgano irradiado.

Los efectos biológicos en células que están asociadas con los factores genéticos o hereditarios se llaman efectos genéticos y están dirigidos a las futuras generaciones.

No existe una evidencia que indique, sin lugar a duda, de que algunas células de organismos completos desarrollen una verdadera radiorresistencia.

Ciertas bacterias han demostrado una capacidad de resistencia a la radiación después de recibir pequeñas dosis de radiación durante periodos largos de tiempo. Esta resistencia es posible debido a la formación de organismos mutados con una diferente sensibilidad a la radiación que los organismos originales.

Se ha encontrado que la radiorresistencia de un órgano puede ser incrementada si antes de la irradiación se administran ciertos compuestos químicos que actúan como agentes radioprotectores. Su efectividad se evalúa por la determinación del Factor de Reducción de Dosis (FRD), y es la relación de DL 50/30 para animales protegidos y no protegidos.

V.2.1.- AGENTES RADIOPROTECTORES.

Son algunos aminoácidos como la cisteína. Tienen un efecto FRD de alrededor de 2.0 y su función probable es la de actuar como depuradores de los productos de la radiolisis del agua, especialmente el OH^- . Desafortunadamente, debido a la toxicidad química de los agentes radioprotectores, solo pueden ser administrados en pequeñas dosis.

V.2.2.- FACTOR DE RIESGO DE MORTALIDAD.

El cáncer es el efecto somático dominante ocasionado por exposición a la radiación. El valor del fondo ambiental en U.S.A. es de 130 mrem/año, y a este valor corresponde una mortalidad por cáncer de 0.16 % aunque influyen otras causas, como hábitos de vida que no proporcionan una explicación incuestionable, cuando en sitios con hasta 200 mrem/año presentan un porcentaje menor.

El ICRP (1977) publicó un folleto titulado: " RISK FACTORS " (Factores de Riesgo), en donde se obtienen el valor del factor de riesgo de mortalidad para cáncer inducido por irradiación y es alrededor de:

$$10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$$

Que se interpreta como:

Uno de cada cien individuos irradiados con 100 rem, como un promedio para ambos sexos y de todas las edades.

V.3.- EFECTOS ESTOCASTICOS Y NO ESTOCASTICOS.

V.3.1.- EFECTOS ESTOCASTICOS.

Son aquéllos que se presentan cuando la probabilidad de ocurrencia y no la gravedad del efecto está en función de la dosis. No tienen "dosis umbral". Son estocásticos todos los efectos genéticos o hereditarios y algunos efectos somáticos como la carcinogénesis.

V.3.2.- EFECTOS NO ESTOCASTICOS.

Son aquéllos que se presentan cuando la gravedad de los efectos depende de la magnitud de la dosis. Generalmente son los efectos agudos y a niveles de dosis altas. Existe una llamada "dosis de umbral", debajo de la cual, los efectos no se manifiestan.

V.3.3.- REGLAS DE PROTECCION.

Las reglas de protección contra la radiación para trabajadores ocupacionalmente expuestos y la población como un todo, deben ser tales que, el riesgo a la radiación inductora de cáncer durante la vida de un individuo y de los efectos genéticos sean extremadamente pequeños. Debido a la dificultad en establecer tales reglas con datos adecuados en humanos es necesario realizar experimentos con animales en base a teorías biológicas.

Una muy importante incertidumbre es el concepto de la dosis umbral, debajo de la cual los efectos no somáticos debidos a la radiación se manifiestan durante la longevidad del individuo.

V.3.4.- EXPERIMENTOS CON ANIMALES.

Ratones irradiados con niveles de dosis de 12 krad han mostrado una incidencia de cáncer. Algunos ejemplos son:

Sr^{90} induce osteosarcomas.

Ra^{226} induce tumores en huesos.

Rayos X inducen tumores en riñones.

e^- acelerados inducen tumores en piel.

En cambio, niveles de dosis de alrededor de 0.5 krad, no presentan incidencias de ningún tipo de cáncer, soportando la teoría de la dosis umbral.

De estas y otras investigaciones con animales de laboratorio, muchos radiobiólogos consideran como probable, para bajas dosis de radiación y con bajo LET, la existencia de una dosis umbral de 100 rem, abajo de la cual no se presentan los efectos somáticos. Esta dosis umbral probablemente difiere entre las personas.

Otros experimentos han indicado que ciertos tipos de cáncer en grupos de animales no existe la dosis umbral, pero si se tiene una incidencia con respecto al nivel de dosis. Aún cuándo los radiobiólogos están en desacuerdo sobre la existencia de la dosis umbral, todos están de acuerdo en no sobrestimar los riesgos de exposición a las dosis bajas, ya que se supone la existencia de una relación de nivel dosis-efecto lineal.

V.4.- EFECTOS HEREDITARIOS.

El estudio de los efectos hereditarios en organismos vivos no es fácil debido a que existen otras sustancias que también provocan mutaciones, la radiación solo incrementa la frecuencia de estos efectos. En el caso del hombre, el estudio es aún más difícil, ya que se necesita un mayor número de casos y el tiempo entre generaciones es muy grande.

La mayor parte de los conocimientos actuales se basa en trabajos con animales. En la mayoría de los casos y a todas las dosis dadas la radiación induce mutaciones en todas las especies estudiadas, siendo así, cualquier incremento de la radiación en los humanos traería como consecuencia un aumento en las mutaciones. Sin embargo, la aplicación de estos resultados obtenidos en los animales a los humanos puede resultar erróneo.

Estudios recientes han demostrado que algunos efectos hereditarios en el hombre son causados por daño cromosómico.

Los genes pueden ser dominantes o recesivos. Una mutación en un gen dominante tendrá el riesgo de daño en la descendencia de la primera generación. El daño causado a un gen recesivo se mostrará en la descendencia sólo si el otro gen del otro padre está dañado.

A menos que estos cambios ocurran frecuentemente el daño recesivo no se verá sino hasta después de varias generaciones.

En el estudio de los efectos somáticos tardíos se debe de estudiar a más y se requieren muchos datos más y mayor experimentación.

Sin duda el estudio de aquellos grupos que han estado expuestos a dosis altas será de utilidad y dará más datos. En cualquier caso aún existen muchos problemas que hay que resolver.

V.4.1.- EFECTOS GENETICOS DE LA RADIACION.

En 1927, H: J. Muller mostró como la irradiación de la mosca de la fruta (Drosophila melanogaster) podía producir nuevas especies con defectos respecto a sus ascendientes (por ejemplo, falta de alas), y que ésta propiedad se conservaba en los genes de las últimas generaciones.

La demostración de Muller se extendió a otras especies primitivas y ha causado gran consternación en cuánto al peligro de la radiación nuclear. Sin embargo, una investigación efectuada con 36 000 niños nacidos en Hiroshima, de padres que habían sido expuestos a dosis de aproximadamente 300 rem, mostró una incertidumbre estadística al no detectar diferencias genéticas respecto a niños nacidos de padres no irradiados.

Este es uno de los pocos casos conocidos con datos humanos. Es por lo tanto cuestionable suponer que los efectos genéticos tienen un umbral de 300 rem.

La irradiación de los órganos sexuales de ratones con 200 rem durante 19 generaciones hecha por K. G. Luning mostró que no se detectaban defectos genéticos. Sin embargo, debido a la diferencia genética entre las especies vivientes, no deben extrapolarse los efectos en animales a efectos en el hombre.

Suponiendo que hubiese una relación lineal entre efecto genético y dosis recibida sobre los órganos sexuales, en un reporte (UNSCEAR 1972), se concluyó que el número de defectos genéticos en ratones nacidos vivos es de 1.5×10^{-4} para que cada rem recibido por el padre hubiera ocasionado una alteración genética.

Los defectos genéticos incluyen esterilidad, mala salud, mongolismo, etc. Por lo tanto, en una población de 1 000,000 de personas con una razón de crecimiento del 2%, si todos los padres recibieron una dosis en exceso de 1 rem, el número de defectos genéticos sería de 3, pero de esos 3, cuando menos 1 no nacería (esterilidad o aborto). Por supuesto que tales números tan pequeños tienen una gran incertidumbre. La ICRP da un factor de riesgo genético de $4 \times 10^{-3}/\text{Sv}$.

V.5.- EFECTOS TARDIOS.

El problema en el estudio de efectos secundarios debidos a la exposición a la radiación es que el tiempo transcurrido en la aparición de los efectos puede ser bastante grande, por lo mismo a veces es difícil establecer la correlación causa-efecto.

V.5.1.- NEOPLASIAS.

Los estudios en animales indican que la incidencia de cáncer esta en función a la dosis y al tiempo de exposición a la dosis. La mayoría de los canceres se producen en la piel, pulmones, huesos y la médula de los huesos (leucemia).

V.5.2.- EFECTOS TISULARES.

Entre los efectos más importantes se encuentran las cataratas y la esterilidad. La radiación induce cataratas lenta y progresivamente durante un periodo de tiempo, más sin embargo puede detenerse y aún ser regresivo. La esterilidad también puede ser temporal o permanente, en algunos casos, la fertilidad puede retornar en algunos años.

V.5.3.- CRECIMIENTO Y DESARROLLO.

El efecto en el embrión depende de la dosis tanto como de la edad del feto. Mientras más joven es mayor la probabilidad de que sea afectado. Sin embargo aquí también se presenta el problema de que a menor daño durante el crecimiento o alguna anomalía.

VI.- SUSTANCIAS RADIOMIMÉTICAS.

Muchas sustancias químicas, cuando se suministran al cuerpo, tienen los mismos efectos que la radiación, incluyendo el cáncer. En vista de que la inducción de cáncer por sustancias químicas, a éstas se les llama radiomiméticas (mimético = imitador).

Para calificar a una sustancia como radiomimética, ésta debe de producir todo lo siguiente:

- 1.- Detener la división celular.
- 2.- Detener la formación de tumores.
- 3.- Producir aberraciones cromosómicas.
- 4.- Originar mutaciones.
- 5.- Destruir linfocitos.
- 6.- Ser carcinogénica.

Las sustancias químicas que solo producen algunos, pero no todo lo anterior, no son radiomiméticas. Los efectos dependen de la concentración de la sustancia; por ejemplo, la división celular es interrumpida por muchas sustancias radiomiméticas en concentraciones de 10^{-5} /mol.

VI.1.- SUSTANCIAS RADIOMIMÉTICAS TÍPICAS.

- 1.- Óxido de etileno. $\text{CH}_2\text{-O-CH}_2$.
- 2.- Gas mostaza, $(\text{Cl-CH}_2\text{-CH}_2)_2\text{S}$, y derivados.
- 3.- Aminas dicloro alifáticas, etc..

Estos compuestos o grupos químicos se encuentran en muchos materiales que nos rodean, como el humo del tabaco. El efecto de una cierta cantidad de sustancia radiomimética puede ser relacionado con una dosis de radiación. Por ejemplo, una pipa con tabaco corresponde a una dosis de radiación promedio de alrededor de 4 mrem; los valores extremos caen dentro de valores de 1 a 100 mrem, dependiendo de la sensibilidad del individuo.

VI.2.- RADIACION QUIMICA EQUIVALENTE.

Se ha propuesto introducir una nueva unidad llamada radiación química equivalente (RQE) que se define como el producto de la concentración de un compuesto químico y el tiempo de exposición para producir el mismo efecto mutagénico de 1 rem de radiación.

Se ha calculado que una exposición a 5 ppm de óxido de etileno durante 40 horas, corresponde a 4 RQE. Actualmente el uso de nitrito de sodio (Na_2NO_2) en alimentos corresponde a 8 RQE por 30 años y una exposición a todos los compuestos químicos modernos comunes en la sociedad actual, es de 4 - 18 RQE por 30 años.

VII.-DOSIMETRIA.

La dosimetría es la medición de los cambios físicos, químicos o biológicos que produce la energía depositada por la radiación en un sistema.

Propiedades Deseables en un Sistema Dosimétrico.

- 1.- Respuesta lineal con la dosis.
- 2.- Respuesta lineal e independiente de la razón de dosis.
- 3.- Respuesta independiente de la energía de la radiación.
- 4.- Respuesta independiente de las condiciones de irradiación (presión, temperatura y humedad)
- 5.- Cubrir límites de 10^{-10} rad ($1 \cdot 10^{-4}$ Gy) o mayores.
- 6.- Estable químicamente antes y después de la irradiación.
- 7.- Deberá ser medible con precisión en un instrumento o con técnicas adecuadas confiables.
- 8.- Reproducible en $\pm 2\%$ y más generalmente $\pm 5\%$.
- 9.- Económico y fácil de obtener.
- 10.- Sencillo y seguro en su manipulación.

Los dosímetros se clasifican en absolutos o primarios, para la medición directa de la dosis, y en relativos o secundarios, en donde la respuesta se conoce por comparación con dosímetros primarios.

Los sistemas dosimétricos, en uso actualmente, en la irradiación con fines industriales y de investigación en donde se empleen fuentes gamma de Co^{60} o de Cs^{137} y para aceleraciones de electrones son los siguientes:

VII.1.- DOSIMETROS DE REFERENCIA:

Cámara de ionización

Dosímetro de Fricke

VII.2.- DOSIMETROS DE RUTINA:

Dosímetros químicos

Dosímetros a base de plásticos

Dosímetro de termoluminiscencia

Los más comunes se indican en la tabla siguiente:

DOSIMETROS DE REFERENCIA

SISTEMA DOSIMETRICO	METODO ANALITICO	UTILIDAD (LIMITES) (Kgy)	RADIACION (TIPO)	REPRODU- CIBILIDAD.
Sulfato Ferroso	Espectro- fotométrico	0.04-0.40	γ	1
Sulfato Férrico	Espectro...	1-50	γ	1
Calorímetro	Sensor Térmico	(s) 0.2 Kgy/min	e^{-}, γ	1-1
Calorímetro	Sensor	(l) 0.2 Kgy/min	γ	2

DOSIMETROS DE RUTINA.

Sulfato Férrico	Potencio- métrico.	1-50	γ	2
Etolol clorobenceno	Oscilo- métrico	1-400	γ	4
Sacáridos	Liolumi- niscencia	$10^3 - 8 \times 10^{-2}$	γ	2-5
Aminoácidos	Emisión de λ	0.01-5	γ	3-5
Polímeros	Emisión de λ	2-40	e^{-}, γ	?
Perspex (claro)	Espectro...	1-50	γ	1-2
Perspex (rojo)	Espectro...	5-50	γ	1-2

Perspex (Ámbar)	Espectro...	1-20	γ	1-2
Alanina	RPE	10^{-3} - 10^{-2}	e^{-}, γ	1-2
Película radiocró- mica	Espectro... o densito- métrico	1-100	e^{-}, γ	10
Triacet. de celulosa.	E o D	0-15	e^{-}, γ	1
Cristales	E o D	10^{-8} -10	e^{-}, γ	5
Borato de Litio	ITD	0.1-100	$?, \gamma$?
D+Glucosa	Polarimétrico	10-5 000	e^{-}, γ	?

VIII.- APLICACION DE LOS EFECTOS GENETICOS EN PLANTAS.

La radiación se ha empleado con éxito en numerosos experimentos para producir cambios que mejoran la calidad de las especies o producen mutaciones deseables por el hombre. Por ejemplo, la irradiación de plantas da como resultado una relación de alrededor de 100 a 1 de mutación dañina y mutación ventajosa. Sin embargo, cultivando esas cuantas plantas muestran un incremento en sus propiedades y se han obtenido nuevas variedades de plantas.

Este ha sido el resultado en especies de granos y legumbres que tienen tallo más fuerte, rendimientos más altos, mejora de la resistencia al frío y a los hongos. En países nórdicos como Suecia, la mayor parte del grano que se cultiva actualmente es de especies radio-producidas que poseen una mayor resistencia al frío.

Los valores siguientes son datos sobre arroz mutado producido en la India comparado con arroz sin tratar.

1er año:	arroz mutado	5 044 Kg/hectáreas
	arroz sin tratar	3 492 Kg/hectárea
2º año:	arroz mutado	1 804 Kg/hectárea
	arroz sin tratar	1 145 Kg/hectárea
3er año:	arroz mutado	4 143 Kg/hectárea
	arroz sin tratar	2 621 Kg/hectárea

La "Revolución Verde" que ha sido considerada una arma contra el hambre en muchas áreas de la tierra, ha recibido la ayuda de granos mutados (maiz) con alto rendimiento y resistencia a las plagas.

IX.- APLICACIONES BIOLÓGICAS Y BIOTECNICAS.

La sociedad moderna frecuentemente ha convertido el poder destructivo en un recurso útil. Así el daño biológico causado por la radiación puede ser utilizado con fines benéficos como la terapia con radiaciones y la esterilización de alimentos.

IX.1.- TERAPIA CON RADIACIONES.

Consiste generalmente en la aplicación de una gran dosis de radiación instantánea a tejidos en donde una operación quirúrgica es imposible o indeseable. En algunos casos una irradiación local es producida por núclidos radiactivos implantados en el tejido por medio de agujas o pequeñas cápsulas. Por ejemplo, agujas ^{90}Sr - ^{90}Y , pastillas de Au^{198} , etc., han sido implantadas en las glándulas pituitaria (para acromegalia, enfermedad de Cushing y cáncer) en el pecho, (para cáncer pectoral), y en los nervios (para reducir el dolor), mientras que los rayos gamma del Co^{60} se han empleado en la irradiación de órganos localizados internamente. La dosis local puede ser varios cientos de rad.

IX.2.- ESTERILIZACION DE ALIMENTOS.

La radiación puede ser empleada para la conservación de alimentos en forma muy diferente a los métodos convencionales enlatado, calentamiento y congelación. La conservación con radiaciones intenta lograr una completa destrucción de las bacterias sin cambio en el sabor de los alimentos.

IX.2.1.- PASTEURIZACION CON RADIACIONES.

Esterilización parcial con dosis bajas e irradiación a bajas temperaturas para obtener sólo pequeños cambios en el sabor de los alimentos.

En 1976 alrededor de 40 países habían aprobado 50 diferentes alimentos irradiados para consumo humano. Algunos tipos de alimentos fueron los del cuadro siguiente:

PAIS	PRODUCTO	DDOSIS MAXIMA
Canadá	papas	10 Krad
Israel	cebollas	10 Krad
Holanda	camarones	100 Krad
U.R.S.S.	carne frita	800 Krad
U.S.A.	trigo y productos de trigo	50 Krad

En una reunión efectuada en 1976 entre la Organización para la Agricultura y la Alimentación, Organismo Internacional de Energía Atómica y la Organización Mundial de la Salud (FAO, OIEA, OMA), los expertos recomendaron la aceptación incondicional de alimentos irradiados (papas, trigo, pollo, papaya y fresas) y durante su aprobación provisional (hasta 1980) para otros productos (arroz, pescado y cebollas).

3 LIST OF CLEARANCES (As of 1991-09-19)

(Groups according to country)

(This List of Clearances has been prepared on the basis of information provided by governments/
Institutions/Scientists. It may not represent a complete list of clearances of irradiated foods).

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE Mr. (kGy) max.	DATE OF APPROVAL	
ARGENTINA	strawberries	shelf-life extension	unconditional	2.5	30 April 1987	
	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.01	30 April 1987	
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.01	30 April 1987	
	garlic	sprout inhibition	unconditional	0.01	30 April 1987	
	spices	decontamination	unconditional	30	November 1982	
BANGLADESH	chicken	shelf-life extension/ decontamination	unconditional	7	28 December 1983	
	peppya	insect disinfection/ control of ripening	unconditional	1	28 December 1983	
	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.15	28 December 1983	
	wheat and ground wheat products	insect disinfection	unconditional	1	28 December 1983	
	fish	shelf-life extension/ decontamination	unconditional	2.2	28 December 1983	
	onions	insect disinfection	unconditional	0.15	28 December 1983	
	rice	sprout inhibition	unconditional	1	28 December 1983	
	froglegs	insect disinfection	provisional	7	28 December 1983	
	shrimps	shelf-life extension/ decontamination	provisional	5	28 December 1983	
	mangoes	shelf-life extension/ insect disinfection	unconditional	1	28 December 1983	
	peas	control ripening	unconditional	1	28 December 1983	
	spices	insect disinfection	unconditional	10	28 December 1983	
	BELGIUM	potatoes	sprout inhibition	provisional	0.15	16 July 1980
strawberry		shelf-life extension	provisional	3	16 July 1980	
onions		sprout inhibition	provisional	0.15	16 October 1980	
garlic		sprout inhibition	provisional	0.15	16 October 1980	
shallots		sprout inhibition	provisional	0.15	16 October 1980	
black/white pepper		decontamination	provisional	10	16 October 1980	
peppita powder		decontamination	provisional	10	16 October 1980	
arabic gum		decontamination	provisional	10	16 October 1980	
spices (78 different products)		decontamination	provisional	10	28 September 1982	
(semi)-dried vege- tables (7 different products)		decontamination	provisional	10	28 September 1982	
shrimps		decontamination	provisional	3	5	30 November 1988
herbal tea		decontamination	provisional	10	30 November 1988	
BRAZIL		rice	insect disinfection	unconditional	1	7 March 1985
		potatoes	sprout inhibition	unconditional	1	7 March 1985
		onions	sprout inhibition	unconditional	15	7 March 1985
		beans	insect disinfection	unconditional	1	7 March 1985
		maize	insect disinfection	unconditional	0.5	7 March 1985
	wheat	insect disinfection	unconditional	1	7 March 1985	
	wheat flour	insect disinfection	unconditional	1	7 March 1985	
	spices (3 different products)	decontamination/ insect disinfection	unconditional	10	7 March 1985	
	peppya	insect disinfection	unconditional	1	7 March 1985	
	control of ripening	unconditional	1	7 March 1985		
	strawberries	shelf-life extension	unconditional	2	7 March 1985	
	fish and fish- products (fillets, solid, smoked, dried, dehydrated)	shelf-life extension/ decontamination	unconditional	3.2	7 March 1985	
	poultry	shelf-life extension/ decontamination	unconditional	7	7 March 1985	

3 Con el fin de evitar errores de traducción se transcribe tal cual de la fuente original. (26).

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE kGy. (kG) max.	DATE OF APPROVAL	
BULGARIA	potatoes	sprout inhibition	experimental batches	0.1	30 April 1972	
	onions	sprout inhibition	experimental batches	0.1	30 April 1972	
	garlic	sprout inhibition	experimental batches	0.1	30 April 1972	
	stains	insect disinfection	experimental batches	0.3	30 April 1972	
	dry food concentrates	insect disinfection	experimental batches	1	30 April 1972	
	dried fruits	insect disinfection	experimental batches	1	30 April 1972	
	fresh fruits (tomatoes, peaches, apples, cherries, raspberry, grapes)	shelf-life extension	experimental batches	2.5	30 April 1972	
	CANADA	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.1	9 November 1960 14 June 1963
onions		sprout inhibition insect disinfection	unconditional	0.35 0.75	29 March 1965 25 February 1969	
spices and certain dried vegetables		decontamination	unconditional	10	3 October 1964	
seasonings						
onion powder		decontamination	unconditional	10	17 December 1963	
CHILE		potatoes	sprout inhibition	experimental batches test marketing		31 October 1971 29 December 1967
	papaya	insect disinfection	unconditional	0.15		
	wheat and ground wheat products	insect disinfection	unconditional	1	29 December 1967	
	strawberry	shelf-life extension	unconditional	3	29 December 1967	
	chicken	decontamination	unconditional	7	29 December 1967	
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.15	29 December 1967	
	rice	insect disinfection	unconditional	1	29 December 1967	
	teleost fish and fish products	shelf-life extension decontamination	unconditional	2.2	29 December 1967	
	cocoa beans	insect disinfection decontamination/ insect disinfection	unconditional	5	29 December 1967	
	dates	insect disinfection	unconditional	1	29 Dec. 1967	
	peaches	shelf-life extension/ insect disinfection/ control of ripening	unconditional	1	29 December 1967	
	peas	insect disinfection	unconditional	1	29 December 1967	
	spices and condiments	decontamination/ insect disinfection	unconditional	10	29 December 1967	
	CHINA	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.20	30 November 1964
		onions	sprout inhibition	unconditional	0.15	30 November 1964
		garlic	sprout inhibition	unconditional	0.10	30 November 1964
		peas	insect disinfection	unconditional	0.40	30 November 1964
beans		insect disinfection	unconditional	0.45	30 November 1964	
mushrooms		growth inhibition	unconditional	1	30 November 1964	
sausages		decontamination	unconditional	8	30 November 1964	
apples		shelf-life extension	unconditional	0.4	30 September 1968	
CUBA		cocoa beans	decontamination	unconditional	0.4	September 1968
		potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.14	November 1967
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.06	December 1967	

The Government has recognized food irradiation as a process and will permit the irradiation of specified foodstuffs subject to certain conditions (Registration SCP 89-175, 23 March 1969).

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE MIN. (MGY)	DATE OF APPROVAL	
CZECHOSLOVAKIA	potatoes	sprout inhibition	experimental	0.1	16 November 1976	
	onions	sprout inhibition	experimental	0.08	16 November 1976	
	mushrooms	growth inhibition	experimental	2	16 November 1976	
DENMARK	spices and herbs	decontamination	unconditional	15 (aver. 110)	23 December 1985	
FINLAND	dry and dehydrated	decontamination	unconditional	(aver. 110)	13 November 1987	
	spices and herbs all foods for patients requiring sterile diet	sterilization	unconditional	not limited	13 November 1987	
FRANCE	potatoes	sprout inhibition	provisional	0.075	0.15	8 November 1972
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.075	0.15	21 June 1986
	garlic	sprout inhibition	unconditional	0.075	0.15	21 June 1986
	shallot	sprout inhibition	unconditional	0.075	0.15	21 June 1986
	spices and aromatic substances (inclusive powdered onions and garlic)	decontamination	unconditional	21	10 February 1981	
	egg yolk	decontamination	unconditional	9	17 May 1985	
	cereal flakes and grains for milk products	decontamination	unconditional	10	17 May 1985	
	dehydrated vegeta- bles	decontamination	unconditional	10	17 May 1985	
	mechanically deboned poultry meat	decontamination	unconditional	5	6 February 1989	
	dry fruits	insect disinfection	unconditional	3	6 January 1989	
	FRANCE(cont.)	dry vegetables	insect disinfection	unconditional	1	6 January 1989
		strawberries	shelf-life extension	unconditional	1	26 December 1986
		frog legs, frozen	to control microbial contamination	unconditional	6 to 8	3 May 1988
		egg white (liquid, dried or frozen)	disinfection	unconditional	4	1 October 1989
frozen or semi- frozen peeled, deheaded shrimp		microbial decontami- nation	unconditional	5	2 October 1990	
animal blood, plasma and crust		decontamination	unconditional	10	19 November 1986	
rice flour		decontamination	unconditional	5	6 November 1988	
aromatic herbs, (frozen)		decontamination	unconditional	10	15 May 1988	
poultry, ground, chopped or cut		decontamination	unconditional	5	27 August 1989	
saccarins and cassartines		decontamination	unconditional	6	1 July 1991	
materials and objects in contact with food		decontamination	unconditional	6	12 August 1986	
saline, dried dates, figs and dry apricots		decontamination	unconditional	6	17 July 1991	
HUNGARY		wind-drying- dishes for canned washed wheat	decontamination	experimental	5	10 November 1976
		onions for dehy- drated flakes processing	sprout inhibition	test marketing	0.05	18 November 1980
	potatoes	sprout inhibition	test marketing	0.10	2 December 1981	
	strawberries	shelf-life extension	test marketing	2.5	15 April 1982	
	mushrooms(Agaricus)	growth inhibition	test marketing	2.5	15 April 1982	
	mushrooms(Pleurotus)	growth inhibition	test marketing	3	15 April 1982	
	strawberries	shelf-life extension	test marketing	2.5	15 April 1982	
cherries	shelf-life extension	test marketing	2.5	15 April 1982		

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE min. (mCi/m ²)	DATE OF APPROVAL	
HUNGARY (cont'd.)	soybean seed contents	shelf-life extension	test marketing	2.5	15 April 1982	
	onions	shelf-life extension	test marketing	2.5	15 April 1982	
	peas	shelf-life extension	unconditional	0.05 1.0 + CaCl ₂ treatment	22 June 1982	
	potatoes for processing into flakes	shelf-life extension	test marketing	0.1	28 January 1983	
	broiled chicken soybean (canned) spices	decontamination shelf-life extension	test marketing	0	3 October 1983	
	spices	decontamination	unconditional	(aver.) 0.2	20 February 1984	
INDIA	potatoes	decontamination	unconditional	(aver.) 0.16	19 August 1986	
	onions	decontamination	unconditional	(aver.) 0.15	January 1986	
	spices	decontamination	unconditional	(aver.) 0.15	January 1986	
	frozen shrimp and fishery	disinfection	unconditional for export only	(aver.) 10	January 1986	
*No specific limit set; general limit for all foods 10 mCi overall average.						
INDONESIA	blended spices	decontamination	unconditional	10	29 December 1983	
	tuber and root crops (potatoes, cassava, yam, and taro)	decontamination	unconditional	0.15	29 December 1983	
	spices	disinfection	unconditional	1	29 December 1983	
ISRAEL	potatoes	decontamination	unconditional	0.15	5 July 1987	
	onions	decontamination	unconditional	0.15	8 March 1985	
	garlic	decontamination	unconditional	0.15	8 March 1985	
	shallots	decontamination	unconditional	0.15	8 March 1985	
	spices (5 different products)	decontamination	unconditional	(aver.) 10	17 February 1987	
	fruits and vegetables	decontamination	unconditional	(aver.) 11	17 February 1987	
	grains, cereals, pulses, cocoa & coffee beans, nuts, edible seeds	decontamination	unconditional	(aver.) 11	17 February 1987	
	meat (red meatballs, stran- berries)	decontamination	unconditional	(aver.) 17	17 February 1987	
	poultry and poultry sections	decontamination	unconditional	(aver.) 17	17 February 1987	
	dry and dried vegetables and edible plants	decontamination	unconditional	(aver.) 10	17 February 1987	
	poultry leads	decontamination	unconditional	(aver.) 15	January 1987	
	ITALY	peas	decontamination	unconditional	0.075	30 August 1973
		onions	decontamination	unconditional	0.075	30 August 1973
garlic		decontamination	unconditional	0.075	30 August 1973	
JAPAN	potatoes	decontamination	unconditional	0.15	10 August 1972	
SOMALIA REPUBLIC OF	potatoes	decontamination	unconditional	0.15	28 September, 1987	
	onions	decontamination	unconditional	0.15	28 September, 1987	
	garlic	decontamination	unconditional	0.15	28 September, 1987	
	chickens	decontamination	unconditional	0.15	28 September, 1987	
	leaves and dried mushrooms	decontamination	unconditional	1.00	28 September, 1987	
	dried spices	decontamination	unconditional	10	1 September 1988	

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE mR.(rGy) max.	DATE OF APPROVAL	
MEXICO	onion powder	disinfestation	unconditional	10	January 1988	
	onion paste	disinfestation	unconditional	10	January 1988	
	garlic powder	disinfestation	unconditional	10	January 1988	
	pepper powder	disinfestation	unconditional	10	January 1988	
	chili powder	disinfestation	unconditional	10	January 1988	
	coriander(seeds)	decontamination	unconditional	10	January 1988	
	oregano, dehydrated	decontamination	unconditional	10	January 1988	
	egg powder	microbi.decontamination	unconditional	10	January 1988	
	cocoa powder	decontamination	unconditional	7	January 1988	
	cereal products	decontamination	unconditional	10	January 1988	
	prepared soup	decontamination	unconditional	7	January 1988	
	milk powder	microbi.decontamination	unconditional	7	January 1988	
	NETHERLANDS	dried vegetables	decontamination	temporary for 2 yrs	10	20 Oct. 1988
frozen shrimps		decontamination	temporary for 2 yrs	7		
spices and herbs		decontamination	temporary for 2 yrs	1	20 Oct. 1988	
poultry		decontamination	temporary for 2 yrs	10	20 Oct. 1988	
fish fillets		decontamination	temporary for 2 yrs	7	20 Oct. 1988	
frozen meals		decontamination	temporary for 2 yrs	25.0	20 Oct. 1988	
for patients who need a sterile diet						
NORWAY	spices (dried)	decontamination	permission given on case by case	10	July 1982	
PAKISTAN	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.15	13 June 1988	
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.15	13 June 1988	
	garlic	sprout inhibition	unconditional	0.15	13 June 1988	
	spices	decontamination/ disinfestation	unconditional	10.0	13 June 1988	
PHILIPPINES	potatoes	sprout inhibition	provisional	0.15	13 September 1972	
	onions	sprout inhibition	provisional	0.07	1981	
	garlic	sprout inhibition	provisional	0.07	1981	
POLAND	onions	sprout inhibition	unconditional	0.06	April 1983	
	garlic	sprout inhibition	unconditional	0.15	October 1988	
	spices and herbs	microbial control	unconditional	10	October 1988	
	potatoes	sprout inhibition	temp. for 2 yrs.	9.10	October 1988	
	mushrooms	shelf-life extension	temp. for 3 yrs.	2.5	October 1988	
SOUTH AFRICA	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.12	0.24	19 January 1977
	bananas, dried	insect disinfestation	provisional	0.5	0.5	28 July 1977
	avocados	insect disinfestation	provisional	0.1	0.1	28 July 1977
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.5	0.15	25 August 1978
	garlic	sprout inhibition	unconditional	0.1	0.20	25 August 1978
	chicken	shelf-life extension/ decontamination	unconditional	7	7	25 August 1978
	peppers	shelf-life extension	unconditional	0.5	1.5	25 August 1978
	mangoes	shelf-life extension	unconditional	0.5	1.5	25 August 1978
	strawberries	shelf-life extension	unconditional	1	4	25 August 1978
	bananas	shelf-life extension	unconditional			1982
	lichi	shelf-life extension	unconditional			1982
	pickled mangoes	insect/shelf-life extension	unconditional			1982
	avocados	shelf-life extension	unconditional			1982
	fresh fruit juices	shelf-life extension	unconditional			1982
	green beans	shelf-life extension	unconditional			1982
	tomatoes	control ripening	unconditional			
	soya pickle products		unconditional			
	ginger		unconditional			
	vegetable paste		unconditional			
	bananas, dried	insect disinfestation	unconditional			
	almonds	insect disinfestation	unconditional			
	cheese powder	insect disinfestation	unconditional			
	yeast powder		unconditional			
herbal teas		unconditional				
various spices		unconditional				
various dehydrated vegetables		unconditional				

NOTE: List of authorizations to sell irradiated foods issued to individual companies for specific commodities.

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE min. (kGy) max.	DATE OF APPROVAL	
SPAIN	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.15	4 November 1959	
	onions	sprout inhibition	unconditional	0.28	1971	
SRI LANKA REPUBLIC	chicken	shelf-life extension (or) reduction of pathogenic micro- organisms like salmonella in aged chicken	unconditional	7.0	2 August 1966	
	coconut beans	disinfestation and reduction of micro- organisms or bacteria	unconditional	5.0	2 August 1966	
	dates	disinfestation	unconditional	1.0	2 August 1966	
	mangoes	disinfestation	unconditional	1.0	2 August 1966	
	onions	sprouting inhibition	unconditional	1.5	2 August 1966	
	papayas	disinfestation	unconditional	1.0	2 August 1966	
	potatoes	sprout inhibition	unconditional	1.5	2 August 1966	
	legumes	disinfestation	unconditional	1.0	3 August 1966	
	rice	disinfestation	unconditional	1.0	2 August 1966	
	spices and condiments, dried onions and onion powder	disinfestation	unconditional	10	2 August 1966	
	strawberries	shelf-life extension	unconditional	3.0	2 August 1966	
	bovy fish and fish products	disinfestation	unconditional	2.2	2 August 1966	
	wheat and milk products	disinfestation	unconditional	1.0	2 August 1966	
	THAILAND	potatoes, onions & garlic	sprout inhibition	unconditional	0.15	4 December 1956
		dates	disinfestation	unconditional	1	4 December 1956
		mangoes, papayas	disinfestation and delay of ripening	unconditional	1	4 December 1956
		wheat, rice, pulses	disinfestation	unconditional	1	4 December 1956
coconut beans		disinfestation	unconditional	1	4 December 1956	
INDIA (cont'd.)	fish and fishery products	disinfestation	unconditional	1	4 December 1956	
	fish and fishery products	reduce microbial load	unconditional	2.1	4 December 1956	
	strawberries	shelf-life extension	unconditional	3	4 December 1956	
	meat	decontamination	unconditional	4	4 December 1956	
	100% yog	decontamination	unconditional	5	4 December 1956	
	sausage	decontamination	unconditional	5	4 December 1956	
	frozen shrimp	decontamination	unconditional	5	4 December 1956	
	coconut beans	reduce microbial load	unconditional	5	4 December 1956	
	chicken	decontamination and shelf-life extension	unconditional	7	4 December 1956	
	spices & condi- ments, dehydrated onion and onion powder	insect disinfestation	unconditional	1	4 December 1956	
		decontamination	unconditional	10	4 December 1956	
	UNION OF SOVIET SOCIALIST REPUBLIC	potatoes	sprout inhibition	unconditional	0.1	17 July 1973
grains		insect disinfestation	unconditional	0.3	1959	
fish fruits and vegetables		shelf-life extension	experimental batches	2	11 July 1964	
best-prepared raw beef, pork & rabbit- products (in plastic bags)		shelf-life extension	experimental batches	4	11 July 1964	
dried fruits		insect disinfestation	unconditional	1	15 February 1966	
dry food concentrates (wheat, mushroom, steel rice, pudding)		insect disinfestation	unconditional	0.2	4 June 1966	
poultry, dehydrated (in plastic bags)		shelf-life extension	experimental batches	6	4 July 1964	
cullinary prepared meat products (10% meat anticore)		shelf-life extension	test marketing	8	1 February 1967	
meat products (10% meat anticore) (in plastic bags)		shelf-life extension	unconditional	0.06	17 July 1973	
onions		sprout inhibition	unconditional			

COUNTRY	PRODUCT	PURPOSE OF IRRADIATION	TYPE OF CLEARANCE	PERMITTED DOSE mR. (kGy) max.	DATE OF APPROVAL		
UNITED KINGDOM	any food for consumption by patients who require a sterile diet as essential factor of their treatment	sterilization	hospital patients		1 December 1959		
	fruit		unconditional	2(**)			
	vegetables		unconditional	1(**)			
	cereals		unconditional	1(**)			
	bulbs and tubers		unconditional	0.2(***)			
	spices and condiments		unconditional	101(**)			
	fish and shellfish		unconditional	31(**)			
	poultry		unconditional	31(**)			
	(**)subject to licensing of irradiators for applications of individual process						
	(***)overall average dose						
UNITED STATES OF AMERICA	wheat and wheat powder	insect disinfection	unconditional	0.2	0.5	21 August 1963	
	white potatoes	shelf-life extension	unconditional	0.05	0.15	1 November 1963	
	spices and dry vegetable seasonings (38 commodities)	decontamination/ insect disinfection	unconditional		30	3 July 1963	
	dry or dehydrated enzyme preparations (includes immobilized enzyme preparations)	control of insects and/or microorganisms	unconditional		30	10 June 1965	
	pork carcasses or fresh, non-heat processed cuts of pork carcasses	control of <i>Trichinella spiralis</i>	unconditional	0.2	1.0	22 July 1965	
	fresh fruits dry or dehydrated	delay of maturation decontamination	unconditional		1	18 April 1966	
	enzyme preparations	decontamination	unconditional		10	18 April 1966	
	dry or dehydrated aromatic vegetable substances	decontamination	unconditional		30	18 April 1966	
	poultry	decontamination	unconditional		3	1 May 1969	
	GUINTEA	potatoes	sprout inhibition	unconditional		23 June 1970	
	VIETNAM SOC. REP.	potatoes	sprout inhibition	provisional	0.15	1 Nov. 1989	
		onions	sprout inhibition	provisional	0.1	3 Nov. 1989	
		garlic	sprout inhibition	provisional	0.1	3 Nov. 1989	
dry green beans		insect disinfection	experimental batch	1	3 Nov. 1989		
walrus		insect disinfection	experimental batch	1	3 Nov. 1989		
paprika powder		insect disinfection	experimental batch	1	3 Nov. 1989		
YUGOSLAVIA	dried fish	insect disinfection	experimental batch	1	3 Nov. 1989		
	cereals	insect disinfection	unconditional	10	17 December 1984		
	legumes	insect disinfection	unconditional	10	17 December 1984		
	onions	sprout inhibition	unconditional	10	17 December 1984		
	garlic	sprout inhibition	unconditional	10	17 December 1984		
	potatoes	sprout inhibition	unconditional	10	17 December 1984		
	dehydrated fruits & vegetables	sprout inhibition	unconditional	10	17 December 1984		
	dried mushrooms		unconditional	10	17 December 1984		
	egg powder		unconditional	10	17 December 1984		
	herbal teas, tea extracts	decontamination	unconditional	10	17 December 1984		
	fresh meat and poultry, spices	shelf-life extension/ decontamination	unconditional	10	17 December 1984		
	TAIWAN	potatoes, sweet potatoes, onions, garlic, shallots	sprout inhibition	unconditional		0.15	16 January 1985
		papayas, mangoes	delay ripening	unconditional	1.5	16 January 1985	
		rice	control insects	unconditional	1.0	16 January 1985	
small red beans, mungbeans, soybeans		control insects	unconditional	0.2	16 January 1985		
wheat, flour		control insects	unconditional	0.4	16 January 1985		
spices		control insects decontamination	unconditional	30	10 November 1987		

1. Unit & member of FAO or IAEA.

IX.3.- OTROS USOS.

IX.3.1.- Esterilización de Equipo Médico.

Accesorios médicos; pueden ser esterilizados y empacados con técnicas convencionales después de ser expuestos a radiaciones altamente penetrantes, por ejemplo, de Co^{60} o de Cs^{137} .

IX.3.2.- Tratamiento de Lodos Residuales.

Los residuos orgánicos producidos por el hombre en áreas de gran población, es un recurso de alto valor nutritivo, pero está infectado con bacterias. Se han construido plantas de tratamiento de lodos residuales urbanos e industriales mediante la "termorradiación", es decir, combinación de calor e irradiación.

IX.3.3.- Esterilización de insectos.

En USA, la mosca del gusano barrenador causaba aproximadamente US \$ 20,000,000.00 en daños a la industria ganadera. Se liberaron (soltaron) aproximadamente 1 200 moscas estériles irradiadas (B Krem) por semana por cada metro cuadrado en un área de 50,000 m². La relación entre machos esterilizados y no esterilizados en el área fue de aproximadamente 4 a 1. En 2 años y a un costo de alrededor de US \$ 8,000,000.00 la plaga fue eliminada.

La técnica del macho estéril se usa actualmente en contra de otras especies de insectos de importancia agrícola, tales como la mosca de la fruta en México, la mosca mediterránea de la fruta, la mosca Tse-Tse, mosca del melón, la mosca oriental de la fruta, la mosca de la cebolla y otras plagas de importancia en la agricultura.

X.- NORMAS DE PROTECCION RADIOLOGICA.

Todos los usos de sustancias radiactivas y otras fuentes de radiación exponen a las personas a la radiación externa y a la radiación de sustancias ingeridas o inhaladas. Para minimizar y controlar esos riesgos, agencias internacionales con fuerza legal sobre limitaciones de dosis y limites de ingestión de radioactividad además de guías de trabajo con sustancias radiactivas. La ICRP y el OIEA hacen regularmente recomendaciones para el manejo adecuado de fuentes de radiación.

X.1.- LIMITES DE DOSIS DE RADIACION. DOSIS MAXIMA PERMISIBLE (DMP) PARA ADULTOS.

<u>ICRP (1956-1972)</u>	<u>Personal expuesto</u>		<u>Publico</u>
	<u>rem/año</u>	<u>rem/semestre</u>	<u>rem/año</u>
Gónadas, médula ósea roja	5	3	0.5
Piel, huesos, tiroides	30	15	3.0
Manos, brazos, pies y tobillos	75	38	7.5
Otros órganos particulares	15	8	1.5

D.M.P. 100 mrem/semana. 2.5 mrem/h

X.2.- LIMITES DE DOSIS ANUAL EQUIVALENTE, H₁ ICRP (1977).

EFEECTO	DOSIS
Efectos no estocásticos (Todos los tejidos, excepto cristalino)	---
* Efectos estocásticos (Irradiación uniforme a cuerpo entero)	** 50 mSv/año
Exposición Especial	100 mSv/una vez en 2 años.
Exposición Planeada para un Solo Evento (limitado a unos cuantos empleados)	250 mSv/una vez en la vida.
Grupos críticos del público	5 mSv/año
* Estocásticos: Con probabilidad de un efecto somático arriba del umbral.	
** 0.1 mSv = 0.1 rem	

X.3.- DOSIS MAXIMA PERMISIBLE DE RADIONUCLIDOS EN CUERPO ENTERO
MPBB Y CONCENTRACION EN AIRE Y AGUA (MPC) PARA 168 H/SEMANA.

NUCLIDO	ORGANO CRITICO	T 1/2 Ef (dias)	MPBB (μ Ci)	MPC	
				Agua	Aire
H ³	Tejido corporal	12	10 ³	0.03	2x10 ⁻⁶
C ¹⁴	Grasa	12	300	8x10 ⁻³	10 ⁻⁶
Na ²⁴	Tracto G. Intest.	0.17	7	2x10 ⁻⁴	4x10 ⁻⁷
P ³²	Huesos	14	6	2x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁸
S ³⁵	Testiculos	76	90	6x10 ⁻⁴	9x10 ⁻⁸
K ⁴²	T. G. I. estómago	0.04	10	3x10 ⁻³	7x10 ⁻⁷
Cr ⁵¹	T. G. I. intestino	0.75	800	0.02	4x10 ⁻⁶
Fe ⁵⁵	Vejiga	390	10 ³	8x10 ⁻³	3x10 ⁻⁷
Fe ⁵⁹	G. I. intestino	0.75	20	6x10 ⁻⁴	10 ⁻⁷
Co ⁶⁰	" "	0.75	10	5x10 ⁻⁴	10 ⁻⁷
Cu ⁶⁴	" "	0.75	10	3x10 ⁻³	7x10 ⁻⁷
Zn ⁶⁵	Total	190	60	10 ⁻³	4x10 ⁻⁸
Kr ⁸⁵	Total	---	---	---	3x10 ⁻⁶
Sr ⁹⁰	Huesos	6.4 x 10 ³	2	4x10 ⁻⁶	4x10 ⁻¹⁰
Zr ⁹⁵	G. I. intestino	0.75	20	6x10 ⁻⁴	10 ⁻⁷
Tc ⁹⁹	G. I. intestino	0.75	10	3x10 ⁻³	7x10 ⁻⁷
I ¹²⁹	Tiroides	140	3	4x10 ⁻⁶	6x10 ⁻¹⁰
I ¹³¹	Tiroides	7.6	0.7	2x10 ⁻⁵	3x10 ⁻⁹
Cs ¹³⁷	Total	70	30	2x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁸
Ba ¹⁴⁰	G. I. intestino	0.75	4	3x10 ⁻⁴	8x10 ⁻⁸
Ce ¹⁴⁴	" "	0.75	5	10 ⁻⁴	3x10 ⁻⁸

Au ¹⁹⁸	" "	0.75	20	5x10 ⁻⁴	10 ⁻⁷
Po ²¹⁰	Vejiga	42	0.03	7x10 ⁻⁸	2x10 ⁻¹⁰
Rn ²²²	Pulmones	3.8	0.01	4x10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
Ra ²²⁶	Huesos	6 x 10 ⁴	0.1	4x10 ⁻⁶	10 ⁻¹¹
Th ²³⁰	"	3 x 10 ⁴	0.05	2x10 ⁻⁵	8x10 ⁻¹³
U ²³³	"	300	0.05	4x10 ⁻⁵	2x10 ⁻¹⁰
U ²³⁸	Riñones	15	5x10 ⁻³	6x10 ⁻⁶	3x10 ⁻¹¹
Pu ²³⁸	Huesos	2.3 x 10 ⁴	0.04	5x10 ⁻⁵	7x10 ⁻¹³
Pu ²³⁹	"	7.2 x 10 ⁴	0.04	5x10 ⁻⁵	6x10 ⁻¹³
Am ¹⁴¹	Riñones	2.3 x 10 ⁴	0.1	4x10 ⁻⁴	2x10 ⁻¹²

X.4.- RADIOTOXICIDAD DE LOS ELEMENTOS EN ORDEN DECRECIENTE.

I. MUY ALTA. Sr⁹⁰, Ra, Pu.

II. ALTA. Ca⁴⁵, Fe⁵⁵, Y⁹¹, Zr⁹⁵, Ce¹⁴⁴, Fm¹⁴⁷, Bi²¹⁰, Po.

III. MEDIA. H³, C¹⁴, Na²², P³², S³⁵, Cl³⁶, Mn⁵⁴, Fe⁵⁹, Co⁶⁰, Sr⁸⁹, Nb⁹⁵, Ru¹⁰³, Ru¹⁰⁶, Te¹²⁷, Tl¹²⁹, Cs¹³⁷, Cs¹⁴⁰, La¹⁴⁰, Ce¹⁴¹, Pr¹⁴³, Nd¹⁴⁷, Au¹⁹⁸, Hg²⁰³, Hg²⁰⁵.

IV. BAJA. Na²⁴, K⁴², Cu⁶⁴, Mn⁵², As⁷⁶, As⁷⁷, Kr⁸⁵, Hg¹⁹⁷.

XI.-MEDIDAS DE PROTECCION Y SEGURIDAD.

Las personas que trabajan con radiaciones, pueden limitar las dosis recibidas con el adecuado control de 3 factores:

- 1.- Tiempo,
- 2.- Distancia,
- 3.- Blindaje.

Además del uso del equipo adecuado a cada necesidad.

El tiempo interviene de dos maneras, una en la disminución de la duración de exposición y otra en el almacenamiento de elementos de vida media corta, para conocer el decrecimiento radiactivo.

La exposición total a la radiación puede ser calculada mediante la razón dosis/tiempo. Se expresa generalmente en términos de mrem/h.

La distancia es otra forma de protección, ya que la dosis recibida varía con el inverso del cuadrado de la distancia cuando la fuente está lo suficientemente alejada para ser considerada como fuente puntual. A distancias cortas la disminución de la dosis recibida es menor y requiere de cálculos especiales.

Los blindajes absorberán mejor la radiación mientras tengan mayor espesor y estén constituidos por materiales de alta densidad.

En general, hay dos métodos de blindaje; uno, es el método aproximado o cerrado, en donde cada material o contenedor con una fuente de radiación se blindan separadamente. Este método es aplicable para la radiación menos penetrante, tal como las

partículas alfa y beta. El otro, es el método remoto o de barrera remota, en donde el Área inmediata alrededor de la fuente de radiación se rodea con blindaje.

El método de barrera remota se usa con la radiación gamma, altamente penetrante, para lograr una reducción en la intensidad usando el aire dentro de la barrera como blindaje primario. Esto permite también tener un Área de trabajo alrededor de la fuente gamma, que puede ser usada por medio de aparatos de manejo remoto, operando a través de la barrera. El método específico o combinación adecuada, debe ser determinado después de considerar factores como tamaño de la fuente, tipo de radiación, tamaño del blindaje, costos, peso, necesidades de acceso y requerimientos de operación.

XI.1.- DETECCION DE LA RADIACION.

Los equipos detectores o monitores de radiación son herramientas básicas que se utilizan para controlar la exposición a la radiación.

El hombre con sus sentidos normalmente no puede detectar la radiación. El cuerpo puede ser atravesado por radiación de alta intensidad y no sentir dolor alguno, aún cuando sea severamente dañado. Una persona que recibe una sobreexposición, puede no darse cuenta de ella, por lo tanto, depende de una clase de instrumento para detectar la radiación nuclear.

Los instrumentos para medir la radiación, generalmente proporcionan magnitud de una dosis o la magnitud de una razón de

dosis. Los primeros se refieren a la dosis de exposición acumulada en un periodo de tiempo (Roentgen o miliroentgen, rem o mrem, Sievert o mSv), los segundos, se refieren a la medición inmediata de razón o intensidad de dosis (R/h, mR/h, rem/h, mrem/h, Sv/h).

Los instrumentos que miden la dosis de exposición total se llaman dosímetros. Ejemplo: dosímetros de película y dosímetros de bolsillo.

Los instrumentos usados para medir la razón de dosis de exposición e intensidad de radiación se llaman monitores. Ejemplos: contador Geiger y cámara de ionización.

XI.2.- PREPARACION PARA CASOS DE EMERGENCIA.

Existe una tendencia común a subestimar los problemas y derivaciones de las emergencias. Un manejo responsable planeará disponer de:

- 1.- Personal capacitado.- Oficial de Seguridad Radiológica.
- 2.- Equipo para emergencia y
- 3.- Guías para emergencia de exposición: Exposure to Radiation in an Emergency. Ed. US. National Commite on Radiation Protection and Measurements Report No. 29.

Para no especialistas en procedimientos de emergencia, es conveniente recordar:

- 1.- No planea recibir más de 12.5 rem, pero no titubee en recibir 25 rem.
- 2.- Para salvar una vida, no vacile en recibir 100 rem.

- 3.- Tenga cuidado con las quemaduras por Radiación β^- . La Radiación β^- y alta, generalmente se acompaña de β^- alta.
- 4.- No toque nada con la mano desnuda.
- 5.- Lleve siempre ropa de protección y detectores adecuados.

XI.3.- MEDIDAS DE PROTECCION.

El control de los eventos con radiaciones debe ser responsabilidad de un especialista en seguridad radiológica, cuya principal obligación será la de asegurarse que el trabajo sea efectuado sin riesgos a la salud de las personas involucradas.

La protección se efectúa en tres etapas:

- 1.- Prevención.- incluyen señalización, uso de blindaje, pinzas, etc.
- 2.- Supervisión.- involucran el uso de instrumentos para monitores de los niveles de radiación y el empleo de dosímetros de película y/o de bolsillo.
- 3.- Control post-operación.- consiste generalmente en revisar los dosímetros de bolsillo al terminar el trabajo y los dosímetros de película una vez al mes o cada dos semanas y un examen médico una o dos veces al año.

XI.4.- PROTOTIPO DE REGLAMENTO INTERNO EN UN LABORATORIO DE
RADIOQUIMICA.

- 1.- El responsable del trabajo debe informar al personal que labore con él, acerca del riesgo por radiaciones y asegurarse de que se sigan las reglas de seguridad.
- 2.- No se permite la entrada ni se empleará a menores de 18 años.
- 3.- Ninguna persona trabajará en el laboratorio fuera de las horas estipuladas a menos que obtenga la autorización del responsable.
- 4.- Deberán usarse durante la jornada de trabajo, los dosímetros de película y/o los dosímetros de bolsillo.
- 5.- Los reactivos no deberán pipetearse con la boca. Usar equipo de succión.
- 6.- Se deberá usar siempre la ropa y equipo de protección reglamentarios.
- 7.- No se podrá fumar, comer o beber dentro del laboratorio.
- 8.- Deberán lavarse las manos y monitorearse antes de abandonar el área de trabajo o cambiar de áreas.
- 9.- Los materiales contaminados se deberán colocar en el sitio especificado, dentro del laboratorio.
- 10.- El transporte del material radiactivo se deberá hacer con el blindaje adecuado.
- 11.- Para cualquier incidente no previsto, como derrame de material radiactivo u otra emergencia, llamar a los siguientes telefonos:

- A) Oficina del Oficial de Seguridad Radiológica de 8:00 a 18:00 horas.
- B) Casa del Oficial de Seguridad Radiológica en el horario descubierto en el inciso anterior.
- C) 5-24-99-06 y 5-24-26-65. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.
- D) Jefe del Departamento.
- E) Extensión de la Administración del Edificio.
- F) Cualquier otra Persona Relacionada que pudiera Asesorar.

1.5.- CALCULO DE BLINDAJES.

1.5.1.- BLINDAJE PARA RADIACION ALFA.

Con un sólido cualquiera:

$$R(S) = (3.2 \times 10^{-4}) \frac{(VAS)}{ps} R(a) \text{ cm}$$

Alcance o longitud de trayectoria para partículas en un sólido.

R(S) = Rango o penetración de un sólido.

As = Paso atómico del sólido. Equivalente en un espesor másico.

ps = Densidad del sólido g/cm³

R(a) = Rango en aire en cm.

R(a) = 1.24 E₀ - 2.62 MeV para 4 < E < 8 MeV.

XI.5.2.- BLINDAJE PARA RADIACIONES BETA.

Fórmula de Glendenin con aluminio.

$$\text{Si } 0.15 < E_{\beta} < 0.8 \text{ MeV} \quad R(A1) = 0.407 (E_{\beta} - 0.138) \text{ g/cm}^2$$

XI.5.3.- BLINDAJE PARA RADIACIONES GAMMA.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \ln \frac{I_0}{I} = \mu x$$

I = Intensidad después del blindaje o absorbedor

I_0 = Intensidad antes del blindaje o absorbedor

μ = Coeficiente de absorción lineal del absorbedor en cm^{-1}

x = Espesor del blindaje en cm

XI.5.3.1.- BLINDAJE GAMMA. CAPA HEMI-REDUCTORA.

$$I = I_0 / 2 \quad \ln \frac{I_0}{I} = \mu x; \text{ si } x = x_{1/2}; \ln 2 = 0.693$$

$$\ln 2 = \mu x; \quad x_{1/2} = 0.693/\mu$$

XI.5.4.- BLINDAJE PARA NEUTRONES.

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-N \rho x}$$

ϕ = Flujo neutrónico después de atravesar un blindaje $n/cm^2 \cdot seg$

ϕ_0 = Flujo neutrónico antes de atravesar un blindaje $n/cm^2 \cdot seg$

$$N = \rho x \delta / PA$$

ρ = N^0 de Avogadro.

δ = densidad

PA = Peso Atómico

x = Espesor del blindaje

ρ = Sección de absorción en barns. $\rho = 1 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$

XII.- CONCLUSIONES.

- Como hemos podido ver, en este trabajo escrito, la radiación que recibimos a diario, ya sea ambiental, y a veces, de fuentes no naturales, afectan de diversas maneras a los organismos vivos, si bien pueden tener un efecto nocivo que se puede demostrar en las mutaciones sufridas por estos mismos organismos, o por los efectos causados por las radiaciones, también es cierto, que podemos utilizarlos en nuestro beneficio, como vimos en los capítulos referentes a las aplicaciones biotecnológicas y las ventajas logradas en los cultivos de plantas.

-Adecuadamente utilizada la radiación, nos brinda un sin fin de oportunidades, además, manejando las fuentes con la precaución necesaria, y siguiendo las normas de seguridad vigentes, son lo suficientemente seguras.

-Por lo tanto, debemos utilizar en nuestro provecho esta nueva fuente, tanto de energía, como de aplicaciones tan variadas y, casi podríamos decir, infinitas en el campo del desarrollo tecnológico, para mejorar el nivel de vida del ser humano.

-Por sus características tan especiales, a veces se tiende a satanizar a la energía radiactiva, pero en lugar de eso, deberíamos de aprovechar todos sus recursos, aprender a trabajar con ella., sacarle el máximo beneficio posible y no tenerle miedo. Si así fuera, la humanidad no tendría problemas en avanzar en la dirección adecuada para el próximo milenio.

BIBLIOGRAFIA

- 1) S.M. Bacq and P. Alexander. Fundamentos od Radiobiology. Pergamon Press, Oxford, 1967.
- 2) K.Z. Morgan and J.G. Turner (EDS). Principles of Radiation Protection. J. Wiley, 1967.
- 3) IAEA, Radioesterilization of Medical Products, Vienna, 1967.
- 4) A. P. Casarett. Radiation Biology. Prentice-Hall, 1968.
- 5) K. I. Altman, G. B. Gerber, and S. Okada, Radiation Biochemistry. Academic press, 1970.
- 6) UNSCEAR. Ionizing Radiation: Level and Effects, UN. New York, 1976.
- 7) A. Martin and S.A. Harbison. An Introduction to Radiation Protection. Champman L Hall, 1972.
- 8) H. Kiefer and R. Maushart, Radiation Protection Measurement, Pergamon Press, Oxford, 1972.

- 9) M. Eisembud, Environmental Radioactivity, 2nd. edn., Academic press, 1973.
- 10) IAEA Safety Series, especially No. 38. Radiation protection Procedures, 1973.
- 11) M. Obenhofer. Safe handling of Radiation Sources, Karl Chiemig, 1974.
- 12) F. Manocha. Health Physica 30 (1976).
- 13) IAEA. Nuclear Science and Technology in Food and Agriculture, Viena, 1977.
- 14) M. Navarrete y L. Cabrera. Introducción al estudio de los Radioisótopos. México 1979.
- 15) G.R: Choppin and J. Rydberg. Nuclear Chemistry. pergamon Press 1980.
- 16) M: Cabrera. Seguridad Radiológica. D. E.. Pg. Facultad de Química UNAM. México 1984.
- 17) REPORT OF THE UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Seventeenth Session. Supplement No. 16 (1982). United Nations, New York (1982)

- 18) Glasstone, S., editor. Effects on personal. THE EFFECTS OF NUCLEAR WEAPONS. U. S. Government Printing Office, Washington 25. D:C: (April 1962)
- 19) Nickson, J.J., and Bane, H. N. PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF RADIATION. RADIATION HYGIENE HANDBOOK, edited by H. Blatz Mc Graw-Hill Book Co., Inc., New York, N:Y: (1959)
- 20) A RADIOBIOLOGY GUIDE, WADC TR 57'118 (JUNE 1958). Available from the Armed Services Technica Information Agency, Arlington Hall Station, Arlington 12 Va.
- 21) Millard, N:D: and King , B:G:, HUMAN ANATOMY AND PHUSIOLOGY THIRD EDITION. W.D. Saunders Company, Philadelphia, Pa. (1953).
- 22) Hercik, F., and Jammet, H. SAFE HANDLING OF RADIOISOTOPES: MEDICAL ADDENDUM, IAEA, Vienna 1960.
- 23) THE BIOLOGICAL EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, SUMMARY REPORTS Washington: National Academy of Sciences - National Research Council (1960).
- 24) Hine, G. J. and Brownell, G. L.. RADIATION DOSIMETRY, Academic press Ins., New York, N:Y: (1956)

- 25) NCRP Report No. 39 - BASIC RADIATION PROTECTION CRITERIA,
Washington, D:C: (1971).
- 26) JOINT FAO/IAEA DIVISION OF NUCLEAR TECHNIQUES IN FOOD AND
AGRICULTURE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA.
Suplement to Food Irradiation Newsletter. Vol 15. No. 2 -
October 1991.