

121



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“EVALUACION DE ALGUNOS EFECTOS
PRODUCIDOS POR LA INGESTA DE LACTEOS
COMERCIALES CONTAMINADOS CON
PRODUCTOS DE LA FISION NUCLEAR”.



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
ARMANDO RIOS PEREZ

MEXICO, D. F.

1990



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

Pag.

1.0	Objetivos.	
2.0	Introducción.	
2.1	Generalidades.	
2.1.1	Historia de la radioactividad.	1
2.1.2	Historia de la energía nuclear.	2
2.1.2.1	Energía nuclear en la URSS.	6
2.1.3	Centrales nucleoelectricas.	9
2.1.4	Tipos de radiaciones.	16
2.1.4.1	Radiaciones naturales.	19
2.1.4.2	Radiaciones artificiales.	31
2.1.5	Detectores de radiaciones.	34
2.2	Antecedentes.	
2.2.1	Accidente de Chernobyl.	44
2.2.2	Fuga de radionucleidos a la atmosfera.	45
2.2.3	Ciclo biologico de los radionucleidos.	54
2.2.4	Consecuencias producidas por las radiaciones.	75
3.0	Parte Experimental.	83
3.1	Metodologia	86
3.2	Material biologico.	98
3.3	Reactivos.	100
3.4	Instrumental.	101
4.0	Resultados.	102
5.0	Conclusiones.	113
6.0	Bibliografia.	117

"...El hombre es algo que debe ser superado. ¿Quién de vosotros ha hecho algo para superarlo? Todos los seres, hasta el presente, han originado algo superior a ellos mismos; y mientras, vosotros, queréis ser el reflejo de esa marea y retornar a la animalidad, mejor que superar al hombre! ¿Qué es el mono para el hombre? un motivo de risa, o una dolorosa vergüenza. Pues otro tanto debe ser el hombre para el superhombre: una irrisión, o una afrentosa vergüenza. ¡Haced ya recorrido el sendero que va desde el gusano al hombre, pero queda aún en vosotros mucho de gusano!

En tiempos pasados fuisteis simios, ¡pero ahora es el hombre más simio que cualquier simio! Y el más sabio de vosotros no pasa de ser una realidad disparatada, un ser híbrido de planta y fantasma. Más; os digo yo que os transforméis en plantas o en fantasmas!"

Prologo de Zaratustra (Parte III)

"Así hablo Zaratustra".

Friedrich Nietzsche.

TERMINOLOGIA

TERMINOLOGIA

α = Radiaciones Alfa.

β = Radiaciones Beta.

γ = Radiaciones Gamma.

δ = Radiaciones Delta.

cpm = Cuentas por minuto.

Ci = Curie.

Bq = Bequerel.

mr = Milirems.

rad = Rad.

Sv = Sievert.

OBJETIVOS

El siguiente trabajo se planeó debido a las graves consecuencias observadas en los países de Europa Central causadas por las constantes emisiones radioactivas a la atmósfera de los reactores nucleares y las pruebas nucleares.

Como antecedentes se tienen:

a.-) El accidente ocurrido en un reactor nuclear del complejo nucleoelectrico de Chernobyl en la URSS, los daños causados a los países de Europa por las emisiones radioactivas. La posterior industrialización de gran cantidad de leche que presentaba altos niveles de radioactividad proveniente de Polonia, Checoslovaquia, Hungría, Rumania, Austria, Suiza, Alemania Oriental y Alemania Occidental. Esto desencadenó gran número de manifestaciones de grupos ecologistas en Alemania Occidental, los cuáles buscaban la destrucción de un cargamento formado por varios carros de ferrocarril repletos de leche en polvo con niveles elevados de radioactividad, que se encontraba en una base militar americana en Hanover.

b.-) México importaba leche en polvo y grasa butírica proveniente de los Estados Unidos y Canadá, dándose un cambio repentino en estas importaciones, para traer varios cargamentos provenientes de Irlanda del Norte. A pesar de que este país fue uno de los afectados por las nubes radioactivas, no se encontraron niveles elevados de radioactividad en la leche de vaca.

c.-) Las exportaciones de productos lácteos realizadas por Austria, Checoslovaquia, y Alemania Occidental a países en vías de desarrollo y entre ellos Venezuela, Namibia, Ghana y Tailandia.

Por lo anterior se decidió efectuar un estudio de los productos lácteos del mercado Mexicano, fijándose los siguientes objetivos:

- 1.- Cuantificar las radiaciones β y γ de productos lácteos comerciales.
- 2.- Identificar por medio de un Espectro- γ los radionúclidos presentes en los productos lácteos comerciales.
- 3.- Evaluar algunos efectos producidos por la ingesta de productos lácteos comerciales contaminados con radionúclidos producidos en la fisión nuclear del Uranio 235 .

INTRODUCCION

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 HISTORIA DE LA RADIOACTIVIDAD

Durante la última década del siglo pasado, en el laboratorio de Física del Museo de Historia Natural de París, a partir de unos estudios sobre fluorescencia en compuestos de Uranio, Henry Becquerel descubrió la radioactividad. Este hallazgo se publicó el 2 de marzo de 1896, estableciéndose por primera vez la existencia de ese fenómeno. Más tarde se encontró que otros elementos como el torio también emiten radiaciones. A principios de este siglo, en 1902, Pierre y Marie Curie descubrieron dos nuevos elementos con la misma propiedad: el polonio y el radio, así como el fenómeno de la transmutación de un átomo en otro diferente, a partir de una desintegración espontánea que ocurría con gran desprendimiento de energía.

Posteriormente se supo que las radiaciones emitidas en forma natural por el uranio, el torio, el polonio y el radio, consisten en la emisión de partículas α y β , así como la radiación γ .

Poco después, los estudios realizados por Albert Einstein en 1905 explicaron que dicho desprendimiento de energía era el resultado de la transformación de pequeñas cantidades de materia en energía, de acuerdo con la equivalencia $E=mc^2$. (1,8,13,14,)

E = Energía.

m = Masa.

c^2 = Velocidad de la luz.

Ambos hechos condujeron a la conclusión de que si se lograba desintegrar a voluntad los átomos de algunos elementos, seguramente se podrían obtener cantidades fabulosas de energía.

2.1.2 HISTORIA DE LA ENERGIA NUCLEAR

El 17 de diciembre de 1938, en Berlín, los alemanes Otto Hanh y Fritz Strassman partieron el núcleo de Uranio en un experimento trascendental que cambió el mundo, al descubrirse la fisión nuclear.

Según los historiadores, Hahn y Strassmann durante varios días no tuvieron una conciencia real del significado de su experimento. Cuando finalmente se dieron cuenta, fueron a una revista científica alemana a la cual terminaron diciendo que sus resultados "diferían de toda la experiencia previa en la física nuclear, que quizás habían alcanzado indicadores falsos a partir de una serie de coincidencias fortuitas". De hecho, sus investigaciones habían de revolucionar al mundo.

Una ex-colega de Hanh, Lisa Meitner y su sobrino Otto Frisch han recibido el crédito de haber sido los primeros en reconocer la enorme importancia del experimento de Berlín.

Estos fueron los antecedentes de los descubrimientos de la fisión nuclear, la cual tuvo lugar ante la inminencia de la segunda guerra mundial. En efecto, gran parte de las investigaciones iniciales se desarrollaron en la Alemania Nazi, aunque con el tiempo muchos de los científicos europeos huyeron para establecerse en los Estados Unidos, el Reino Unido y Canadá. Uno de ellos fue Leo Szilard, un físico húngaro que entendió plenamente el potencial militar de una bomba de fisión y que temiendo las consecuencias de que la Alemania Nazi desarrollase un arma semejante (la maquina-

ria bélica de Hitler ya había cerrado las minas de Uranio de Checoslovaquia), insitó a su amigo Albert Einstein a que enviara una carta al presidente Roosevelt explicando la importancia de la fisión nuclear para el desarrollo de una bomba de fisión. Así fue como se reunió en absoluto secreto a cientos de científicos del más alto nivel en el mundo, para llevar a cabo el mayor desafío científico y de ingeniería de todos los tiempos: el Proyecto Manhattan.

Más adelante el gobierno de los Estados Unidos se apoderó de los conocimientos de Física Nuclear desarrollados por los alemanes y se dió la investigación al ejército estadounidense.

En 1942 fue inaugurado el primer reactor nuclear, en la ciudad de Chicago, bajo la dirección de un brillante físico italiano, Enrico Fermi, cuya sugerencias habían llevado en 1934 al descubrimiento de la fisión.

Tres años después del inicio de las operaciones del reactor, se detonó con éxito una bomba atómica en el solitario desierto de Nuevo México. Vease figura No.1.

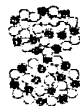
DIAGRAMA DE LA FISION DEL U^{235}

NEUTRON

0



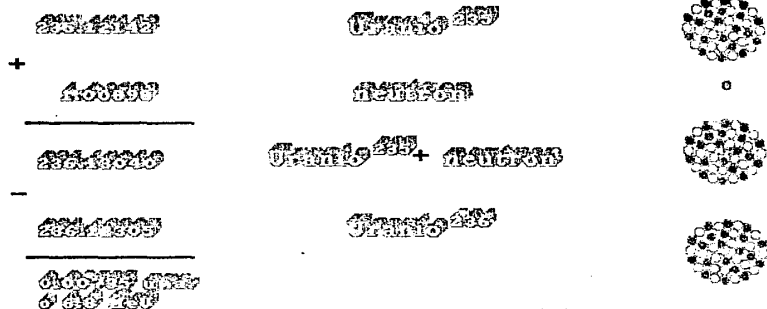
NUCLEO
DEL U-235



REF. 1,2,3,6,8,102,103

FIGURA No. 1

REGLAMENTO DE MASAS EN LA FISICA NUCLEAR



REF. 1

FIGURA NO. 2

2.1.2.1 HISTORIA DE LA ENERGIA NUCLEAR EN LA URSS

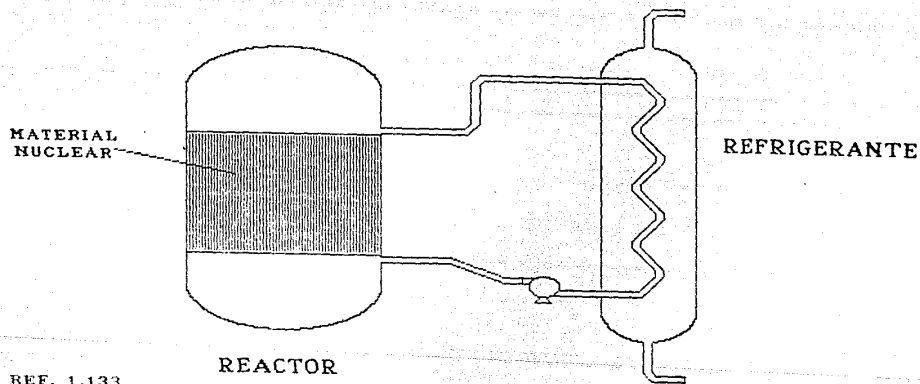
Durante un corto período EUA tuvo el monopolio del poder atómico, pero en 1949 la Unión Soviética hizo explotar su primer dispositivo nuclear, con lo cual comenzó la carrera del armamentismo nuclear. (1,8,13,)

El 27 de junio de 1954, la URSS da inicio a su programa de energía nuclear con la inauguración de la primera planta nuclear comercial en el mundo: un pequeño reactor de 5 MW en el centro de investigaciones de Obninsk, que está situado a 100 Km. al sur de Moscú. Aunque económicamente no fue un éxito, pues aparentemente consumía más electricidad de la que generaba, fue el primer paso de un ambicioso programa atómico.

Como parte de este programa se construyó una central nuclear a orillas del río Pripyat, en las afueras del pueblo del mismo nombre, a unos 15 Km. al norte de Chernobyl. Constaba de 4 unidades, cada una con un reactor de 1000 MW, las dos primeras empezaron a funcionar en 1978, la tercera en 1982 y la cuarta en 1984.

El tipo de reactor usado es conocido como RBMK-1000, construido sólo en la URSS y del cual existen 15 en operación. Son reactores de ebullición, enfriados por agua y moderados por grafito. Su diseño simplificado consiste en un cilindro de 12 m. por 7 m. en cuyo interior se encuentran 1700 toneladas de grafito que actúa como moderador de la reacción y 1661 barras de Zircaloy que contiene el combustible atómico consistente en 200 toneladas de dióxido de Uranio, los cuales son bombardeados para provocar la reacción en cadena.

DIAGRAMA DE UN REACTOR NUCLEAR.



REF. 1,133

FIGURA No. 3

Al ingresar el agua al cilindro y ponerse en contacto con las barras, el agua entra en ebullición y su vapor pasa a las turbinas para generar energía. Vease figura No.2. Para controlar y, en su caso detener la reacción en cadena, el reactor cuenta con 211 barras de absorción de boro que se pueden introducir al núcleo para regular la absorción de neutrones. (3,8,13,) Vease figura No.3.

2.1.3 CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

Las centrales nucleares tienen cierta semejanza con las centrales termoeléctricas convencionales, ya que también utilizan vapor a presión para mover los turbogeneradores, pero en lugar de emplear combustibles convencionales para producirlo, aprovechan el calor que se obtiene al fisurar átomos del isótopo U^{235} en dispositivos denominados reactores. Existe gran variedad de ellos, pero todos tienen los siguientes elementos en común: (1,3) Vease figura No.4.

COMBUSTIBLE.

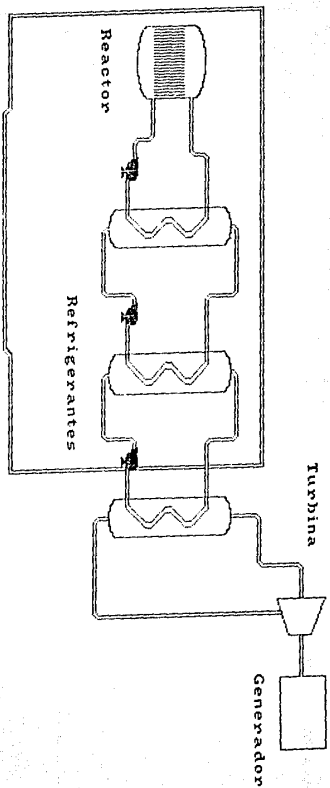
Es el material nuclear que se fisura al ser bombardeado con una fuente de neutrones para obtener calor. En un reactor nuclear puede emplearse como combustible uranio natural, en el que el isótopo U^{238} representa el 99.3% y el isótopo U^{235} tan sólo el 0.7% ó bien Uranio enriquecido, en el que la proporción de U^{235} aumenta hasta 3% aproximadamente.

Existen otros materiales fisurables que pueden usarse como combustible. Estos son el Pu^{239} y el U^{233} que se producen artificialmente a partir del U^{238} y del Th^{232} , respectivamente.

(1,3.)

Los neutrones que se generan como consecuencia de la fisión de los núcleos de U^{235} tienen al emitirse, velocidades de alrededor de 20,000 Km/seg.

DIAGRAMA DE UN COMPLEJO NUCLEOELECTRICO.



REF. 1, 133

FIGURA No. 4

Para que estos neutrones puedan a su vez fisionar a otros núcleos de U^{235} de una manera eficiente y prosiga así la reacción en cadena, se debe disminuir su velocidad hasta 2 Km/seg, aproximadamente. A este proceso se le conoce como "termalización de los neutrones" y se logra intercalando alguna sustancia cuyos átomos se encarguen de frenar a los neutrones por medio de choques, provocando que pierdan velocidad. A dichas sustancias se les denomina moderadores; entre los moderadores más comunes podemos encontrar el agua, el grafito y el agua pesada (agua deuterada).

Las sustancias que sirven como moderadores absorben distintas cantidades de neutrones; por ejemplo, el agua natural absorbe más neutrones que el agua pesada y para compensar el efecto que esta disminución de neutrones tiene sobre el número de fisiones, se debe aumentar el número de átomos de U^{235} enriqueciendo el combustible.

La gran cantidad de calor que se genera en el reactor a consecuencia de la reacción nuclear se utiliza para producir el vapor que se requiere en la generación de energía eléctrica y, al mismo tiempo, mantener lo suficientemente baja la temperatura de los distintos elementos que se encuentran en su interior para que éstos no sufran ningún deterioro. Esto se consigue mediante la acción de un fluido refrigerante que puede ser un gas como el CO_2 ó el Helio, o bien algún líquido como el agua, el agua pesada o el sodio fundido. Vease figura No.4.

Las diferentes combinaciones de moderadores y refrigerantes dan lugar a los diferentes tipos de reactores, entre los que se encuentran los siguientes:

REACTOR DE AGUA PESADA A PRESION (PHWR ó CANDU).

La principal característica de este reactor desarrollado en Canadá y conocido también como CANDU, consiste en que utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y refrigerante.

El núcleo del reactor se encuentra dentro de un cilindro denominado calandria, atravesado axialmente por tubos de paredes relativamente gruesas llamados tubos de presión, en cuyo interior se alojan los elementos combustibles. La calandria está llena de agua pesada que actúa como moderador de los neutrones.(1,3)

Dentro de los tubos de presión, bañando los elementos combustibles, circula agua pesada que actúa como refrigerante de dichos elementos, al absorber calor y elevar su temperatura sin llegar a entrar en ebullición, debido a que la presión en el interior de los tubos es muy alta. El agua pesada caliente pasa después al generador de vapor, donde transfiere su energía térmica a un circuito de agua y la hace hervir.

El vapor generado mueve el turbogenerador para producir energía eléctrica, después se condensa y regresa de nuevo al generador de vapor. Por su parte, el agua pesada regresa al reactor para continuar refrigerando los elementos combustibles.

ALCANCE DE LAS RADIACIONES BETA Y GAMMA EN DIFERENTES MATERIALES.

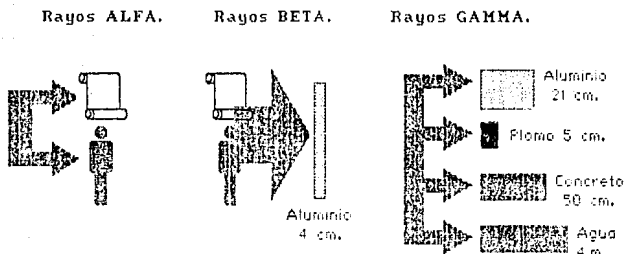


FIGURA No. 5

REF. 1

REACTOR DE AGUA A PRESION (PWR).

En este tipo de reactor los elementos combustibles se encuentran dentro de una vasija a presión llena de agua que desempeña el papel tanto de moderador como de refrigerante. Como en el caso del reactor CANDU, el agua no hierve debido a la presión interna de la vasija. Posteriormente el agua transmite su energía térmica a otro circuito de agua natural y la hace entrar en ebullición, fenómeno que tiene lugar en el generador de vapor, dicho vapor se utiliza para mover el turbogenerador, después de lo cual es condensado y regresa de nuevamente al generador. Por su parte el agua a presión, después de haber transmitido su calor, se reintegra al reactor para repetir su ciclo.

Este tipo de reactor utiliza como combustible uranio enriquecido, en el cual la proporción del isótopo U^{235} aumenta de 0.7% a 3%.

También se tienen los reactores de agua hirviente, los cuales son modificaciones de los reactores PWR. La diferencia estriba en que en el reactor BWR, el agua sí entra en ebullición dentro de la vasija, gracias a que la presión interior es menor que en el PWR, produciéndose directamente el vapor que se utiliza para mover el turbogenerador.

Como en los casos anteriores, después de efectuar esta operación el vapor se condensa y regresa al reactor para repetir el ciclo.

Ambos integran la familia de los reactores de agua natural, que domina ampliamente el mercado de la industria nucleoelectrica. De las 394 unidades que existían en operación a fines de 1986, aproximadamente el 75% eran de alguno de estos tipos; proporción que se sostiene en los 137 reactores en etapa de construcción en ese año.

Aún cuando en las primeras fases de desarrollo de la industria nucleoelectrica estos reactores ocupan un lugar importante, su popularidad ha disminuido sensiblemente con el tiempo, debido principalmente a razones económicas.

A diferencia de los anteriores, el tipo de reactor de cría no utiliza agua como enfriador, sino bióxido de carbono; empleando grafito como moderador y uranio natural en forma de metal combustible.

Existen varios tipos de reactores que tienen poca importancia por su escasa significación o por escapar a los propósitos que se persiguen para la producción de electricidad. Tal es el caso del reactor enfriado por gas (AGR) de Gran Bretaña, del reactor moderado por grafito y enfriado por agua (LGR) de la Unión Soviética, o de los reactores rápidos de cría, llamados así porque utilizan neutrones de alta energía (poco moderados), que son capaces de producir más energía de la que consumen. Se piensa que éstos últimos serán los reactores del futuro. (1,3)

2.1.4 TIPOS DE RADIACIONES

Los elementos radioactivos, por su estado de inestabilidad necesitan liberar energía o materia, dependiendo esto de las características propias de cada radionúclido. Así podemos encontrar diferentes tipos:

- 1.- Radiaciones α .
- 2.- Radiaciones β .
- 3.- Radiaciones γ .
- 4.- Radiaciones δ .

Las radiaciones α están formadas de dos protones y dos neutrones, como en el núcleo del Helio; por lo tanto el nuevo núcleo del isótopo que queda después de la emisión está disminuido en ese mismo número de partículas. La partícula α es desprendida con una energía de algunos Mev. (Megaelectrón-volts) que proviene de la transformación de masa en energía. Por tener un gran volumen en el momento del choque con el material de frenado no penetra gran distancia pero puede formar radiaciones δ . Para frenar a las radiaciones α de baja energía es suficiente una hoja de papel.

La diferencia de masa entre el radionúclido padre y el radionúclido hijo más la masa de la partícula α , es la materia que se convierte en energía.

El segundo tipo de decaimiento, el decaimiento β , implica la emisión de una partícula β , que es un electrón o su equivalente, que puede tener carga positiva o negativa. Como la masa del electrón es aproximadamente 1840 veces más pequeña que la de los nucleones, la emisión beta no implica cambio en el número de nucleones, pero sí en el número de protones.

El decaimiento β va acompañado de un neutrino, el cual no tiene carga ni masa, pero sí comparte la energía sobrante con la emisión β .

La emisión β puede ser positiva o sea un positron, o negativa que sería la emisión de un electrón.

El decaimiento τ es un mecanismo que tienen los núcleos de expulsar energía cuando sobra ésta después de un decaimiento α o β . Esta expulsión es en forma de fotón que es la unidad de radiación electromagnética, como la luz, los rayos ultravioleta e incluso los rayos infrarrojos y los rayos X.

La des-exitación de un núcleo de un nivel alto a un nivel bajo va acompañada de la emisión de un rayo τ .

También se puede encontrar otro tipo de radiaciones a las cuales se les conoce como radiaciones δ . Estas se crean en el momento que una radiación α choca con átomos del elemento sólido y con la formación de iones o radicales libres los cuales dan origen a una radiación secundaria o radiación δ .

Se han descubierto otros tipos de decaimiento de mayor masa como en el caso del Ra^{223} el cual emite partículas de C^{14} , perdiendo en el proceso 6 protones y 8 neutrones en forma de racimo. (1,2,3,4,) Vease figura No.4.

ESTIMACION DE LA DOSIS RECIBIDA POR EL HOMBRE A CAUSA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1970.

FUENTE DE RADIACION	DOSIS (mrem/año)
---------------------	------------------

NATURAL:

<i>Cosmica</i>	45 **
<i>Terrestre</i>	60 ***
<i>Radionuclidos Internos</i>	25 *

HECHA POR EL HOMBRE:

<i>Fuga global</i>	4
<i>Plantas nucleares</i>	0.003

DE USO MEDICO:

<i>Diagnostica</i>	72
<i>Radiofarmaceutico</i>	1
<i>Ocupacional</i>	0.08
<i>Otros</i>	2
<u>TOTAL</u>	210 mrem/año.

* Radiacion debida a el K^{40} , Radio y Uranio.
 ** 30 mr. para el war y 130 mr. para la montaña.
 *** 30 mr. a 115 mr.

REF. 6,8,9,14,15

FIGURA No. 6

2.1.4.1 *RADIACIONES NATURALES*

En la naturaleza, la radioactividad se presenta principalmente como resultado de la existencia de las series radioactivas naturales; se encuentran en el hombre como en todo lo que le rodea. En efecto, la radiación natural a la que está expuesta la población proviene de la que se emite a partir de la desintegración de isótopos radioactivos en la tierra (entre estos se encuentran la serie de el uranio, la serie de el actinino, la serie de el torio y el K^{40}), de la radiación cósmica se encuentran:

H^3 , Be^7 , Be^{10} , C^{14} , Na^{22} , Si^{32} , P^{32} y Cl^{36} y de la que proviene de los isótopos radioactivos que forman parte de los seres vivos (los más importantes son el K^{40} , C^{14} , y el H^3), también llamada radiación interna.

Existen además otras fuentes de radiación que afectan a la población: las que se utilizan en medicina (como el Co^{60} , P^{32} , I^{131} , etc), o bien las que provienen de concentraciones elevadas de radioisótopos en recintos cerrados y, en general, del extenso uso que se ha dado en este siglo a la energía nuclear.

Debido a que las radiaciones nucleares producen modificaciones en la materia que atraviesan y por lo tanto pueden afectar el desarrollo y la estructura de las células vivas, es importante conocer su origen, su concentración y sus efectos. (1,3,5,6,) Véase figura No.6

RADIOACTIVIDAD EN LA TIERRA.

En la tierra hay un gran número de sustancias radioactivas; se conocen más de 300 isótopos de los elementos naturales. Aproximadamente setenta de éstos son radioactivos y pueden clasificarse en tres categorías: los radioisótopos primarios, los secundarios y los inducidos. Los primeros son aquéllos que tienen una vida media suficientemente grande (como ejemplo tenemos a el U^{238} que tiene una vida media de 4.51×10^9 años, el U^{235} el cual tiene una vida media de 7.13×10^8 años, etc.) se formaron hace alrededor de cinco millones de años (Edad aproximada de la tierra) y aún existen. Los segundos cuentan con vidas medias pequeñas, comparadas con la edad de la tierra, (como el Th^{230} que tiene una vida media de 8.0×10^4 años, el Ra^{226} con una vida media de 1.6×10^3 años, etc.); su existencia sólo se explica por su continua formación debido a la desintegración de los isótopos primarios. Finalmente la tercera categoría, los radioisótopos inducidos, son aquellos que se generan permanentemente por la interacción de las radiaciones cósmicas con ciertos elementos existentes en nuestro planeta (como ejemplo se tiene a el H^3 , su vida media es de 12.26 años, el C^{14} el cual tiene una vida media de 5760 años, el Be^7 el cual tiene una vida media de 53 días). Vease figura No.6.

RADIOACTIVIDAD DE LA CORTEZA TERRESTRE.

Los elementos radioactivos naturales se encuentran distribuidos en forma bastante uniforme en las rocas y suelos de la corteza terrestre, la cual está constituida principalmente por basalto y granito. La contribución primordial de la radioactividad de la corteza proviene de las series radioactivas naturales, de las cuales se conocen tres: el Th^{235} , el U^{238} y el U^{235} , isótopos que se denominan cabeza de serie. Los cuales se forman a partir de estos isótopos mediante el proceso de desintegración radioactiva, lo que genera un cambio en el núcleo atómico que a su vez puede originar un isótopo del mismo o de otro elemento; si este último es radioactivo producirá un tercero y así sucesivamente. El proceso de desintegraciones sucesivas finaliza cuando se llega a un isótopo estable. Una serie radioactiva completa se inicia con la cabeza de la serie y termina en el isótopo estable; los isótopos generados por desintegraciones sucesivas son los descendientes o hijos. Las vidas medias de los radioisótopos que encabezan las tres series radioactivas naturales son del orden de magnitud de vida de la tierra (es decir de aproximadamente 5 millones de años), lo cual explica la existencia de cantidades apreciables de estos isótopos y de sus descendientes.

En cada serie existe un descendiente gaseoso, isótopo del gas radón, que tiende a escapar de la corteza terrestre mediante mecanismos de retroceso y difusión y puede ser arrastrado por el agua o algún otro fluido para emigrar hacia la superficie terrestre y pasar finalmente a la atmósfera.

Hay regiones en las que, por distintas causas geológicas y geoquímicas, las concentraciones de los elementos radioactivos son anormalmente altas como en los yacimientos de minerales radioactivos donde existen mayores cantidades de Uranio y de Torio. En México se han localizado yacimientos de Uranio en Chihuahua, Nuevo León, Sonora, Sinaloa, Oaxaca y Baja California.

Además de los radioisótopos que pertenecen a las series radioactivas naturales, se tienen otros, como el K^{40} , que contribuyen en gran medida a la radioactividad de la corteza terrestre, o como el Rb^{87} , el Se^{152} o el Lu^{76} , cuya influencia es reducida.
(61,3,5,6,8.)

RADIOACTIVIDAD EN LA ATMOSFERA.

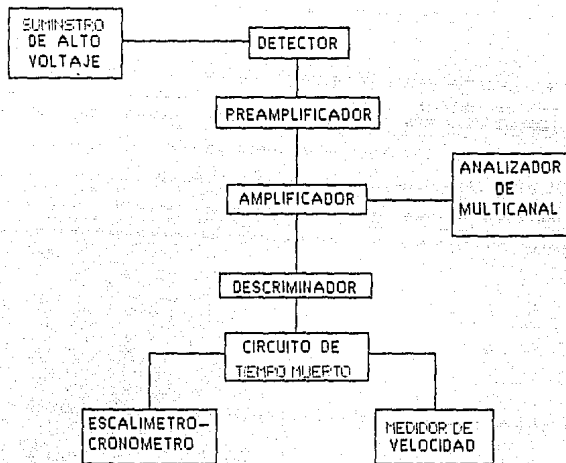
Los elementos radioactivos que se encuentran en la atmósfera se originan en la corteza terrestre; están constituidos básicamente por isótopos del radón, que son gases y se incorporan a la atmósfera. Una revisión de los datos que existen sobre el radón ambiental nos permite considerar que probablemente se encuentren concentraciones de 70 picocuries/m³ sobre la superficie de los continentes y del orden de 5 picocuries/m³ sobre los océanos.

Adicionalmente, la radiación cósmica primaria originada (la cual esta formada por el 80% está constituida de protones y el 20% de partículas α de energía extraordinariamente elevada); en el espacio exterior contribuye a la radioactividad de la atmósfera; a su paso a través de la atmósfera, la radiación cósmica interactúa, entre otros con los núcleos del nitrógeno y el oxígeno, entre otros presentes en ella. Se originan radiaciones γ , electrones, neutrones, mesones y otras partículas energéticas cuyo conjunto constituye la radiación cósmica secundaria.

La intensidad de la radiación cósmica aumenta con la altitud a partir del ecuador, y también con la altura sobre el nivel del mar. La variación provocada por esta última es la más acentuada ya que a 3000 m de altura la intensidad de la radiación cósmica es aproximadamente seis veces mayor que al nivel del mar. (1,3,5,6,8)

Los niveles de radioactividad a los que una persona se expone varían debido a factores como los hábitos alimenticios, las costumbres sociales, los viajes por avión, el lugar de residencia, el tipo de construcción de la habitación, etc.

DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MEDIDA DE RADIOACTIVIDAD.



RADIACION INTERNA.

La radiación interna proviene de las sustancias radioactivas presentes en los alimentos, en el agua y en el aire que al ser ingeridas o inhaladas se absorben en los tejidos vivos. Los principales isótopos radioactivos que contiene el cuerpo humano son el K^{40} , el C^{14} y el H^3 , pero también se encuentran algunos elementos pesados como el Ra^{226} , el Pb^{210} o el U^{238} , que penetran en el organismo humano en la forma en que se muestra en el diagrama No.1.

Estudios recientes sobre la concentración de Uranio en la sangre de diferentes poblaciones muestran que ciertos padecimientos, como la leucemia, afectan la eliminación de Uranio en el ser humano, aumentando de esta manera la concentración de ese elemento en el torrente sanguíneo de los pacientes. (6,)

El hombre de forma natural ingiere aproximadamente 0.1 microcurie de K^{40} , lo que expone a sus tejidos a cerca de 20 mrems por año. Este K^{40} que se da naturalmente, siempre ha sido parte del tejido humano.

La exposición interna natural que nos llega en forma normal de fuentes radioactivas, representa aproximadamente el 20% del total de las radiaciones recibidas por los tejidos. Entre estas se encuentran las radiaciones provenientes del K^{40} , el cual se puede localizar en concentraciones de 10^{-9} curies/gramo de potasio no radioactivo, en una proporción de 0.011%, mientras el K^{41} está en proporciones de 6.6% (8,9)

La proporción del K^{40} en relación al peso del cuerpo va de 0.12% a 0.36%. La contribución del carbono radioactivo formado en la atmósfera como resultado de la reacción nuclear causada por los rayos cósmicos, es de aproximadamente 2 mrad/año. De esta misma manera van decayendo los radionúclidos del C^{14} ; así, podemos observar que las cantidades de C^{14} que se encuentran en los seres vivos son siempre constantes.

LOS EFECTOS DEL RADON EN LOS SERES VIVOS.

La mayor contribución a la dosis de radiación que recibe la población la proporciona el Radón y sus descendientes y es precisamente este elemento el que ha mostrado la importancia que puede tener la radiación natural para el hombre y la urgencia de estudiar sus efectos en los seres vivos.

Al inhalar radón o cualquiera de sus descendientes, éstos se adhieren a las paredes y membranas del sistema respiratorio de los seres vivos y su desintegración por emisión de partículas α o β produce dosis concentradas de radiación en el epitelio pulmonar. Debido a que el radón es un gas, puede eliminarse por exhalación y sólo aquellos núcleos que se desintegren dentro de el pulmón contribuirán a la dosis de radiación absorbida. Aunque las concentraciones promedio de radón en la atmósfera no son particularmente dañinas, cuando este elemento queda atrapado en algún recinto cerrado como una cueva, una mina, un sótano o una casa, su concentración puede aumentar considerablemente y causar daño a los seres vivos.

Las minas y la industria minera contribuyen con los mayores niveles de concentraciones de radón natural que se conocen. Desde luego, las minas de Uranio tienen el mayor potencial para generar Radón, pero otros tipos de minas también puede atrapar en los túneles subterráneos gran cantidad de este elemento. En países como Suecia antes de iniciar la industria minera de Uranio se consideró necesario imponer normas de seguridad para evitar que los trabajadores de las minas se sobreexpusieran a la radiación emitida por los descendientes del radón.

RADON EN CASAS HABITACION.

La mayoría de los materiales que el hombre utiliza en la construcción proceden de elementos que se extienden en la corteza terrestre, los cuales serán radioactivos en mayor o menor grado, dependiendo de su naturaleza y precedencia.

Los isótopos radioactivos presentes en los materiales de construcción son principalmente los de Uranio, de Torio, los descendientes de ambos y el K^{40} .

Como consecuencia, el hombre en el interior de los edificios, se halla expuesto a radiaciones, cuyo valor dependerá del tipo de materiales empleados, del lapso de permanencia en los edificios, el cual tiende a ser mayor cada día. Estudios recientes realizados por Harley, muestran que los empleados, hombres y amas de casa pasan 85 y 90% del día, respectivamente dentro de las edificaciones. En los países con climas extremos, donde se aíslan los recintos para evitar cambios de temperatura, la calidad del aire se deteriora, el radón se incorpora al ambiente del recinto no ventilado y como consecuencia se aumenta la exposición a los descendientes del radón. Las fuentes de radón en el aire de las casas se encuentran en el suelo y rocas sobre las cuales está construida la vivienda, en el agua, el gas doméstico y en los materiales de construcción. Aunque los muestreos de radón en casas habitación aún no se realizan en forma sistemática, algunos países han iniciado estudios de este tipo. En Suecia, por ejemplo, desde hace varios años existe la inquietud de determinar las concentraciones de los

descendientes del Radón en casas habitación. La razón principal de este interés radica en que las dosis de estas fuentes de radiación que absorben los habitantes son, en muchos casos, del mismo orden de magnitud o aun mayores, que los límites aceptables por los comités internacionales de construcción radiológica.

Por otro lado, las medidas que se han tomado en dicho país para disminuir el consumo de energía tienden a aumentar la concentración de emisiones radioactivas en el aire del interior de las casas.

2.1.5 RADIACIONES ARTIFICIALES

Se llaman radiaciones artificiales a las que provienen de fuentes creadas por el hombre, tales como; aparatos de televisión, relojes con carátula luminosa, aparatos de rayos X utilizados en medicina, centrales nucleares, bombas nucleares y similares, entre otras. Vease figura No.6.

El público en general puede estar expuesto a productos de consumo que no contienen materiales radioactivos pero que emiten rayos X, debido al frenado de electrones. El ejemplo más común son los aparato de televisión a color, que en promedio, a 5 cm. de la superficie de la pantalla, durante el tiempo normal de uso contribuye con una dosis anual aproximada de 10 miliSv.

Las dosis limites recomendados de radiación están dadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, en las publicaciones de ICRP núm.26, de 1977 é ICRP núm. 43, de 1985; según estas, los trabajadores expuestos a irradiaciones uniformes de cuerpo entero, no deben recibir más de 50 miliSv (5 Rem) al año.

Para la población en general el límite anual recomendado es de 5 miliSv.(0.5 Rem).(5,6,8,)

Actualmente, tenemos que tomar en cuenta una fuente adicional de radiación:

Las radiaciones artificiales que recibimos a lo largo del año, pueden sumar poco más de 50 milirem y en promedio son inferiores a las radiaciones naturales que se reciben de las fuentes naturales.

Como resultado de una serie de estudios en Europa, se ha encontrado que hay en poblaciones con problemas graves de emisiones radioactivas debido a los reactores nucleares, ya que se están acumulando concentraciones cada vez más creciente de radionúclidos de vida media media y larga, liberados a la atmósfera por los reactores nucleares y las pruebas de bombas nucleares o similares.

Entre los radionúclidos de vida larga producidos en los accidentes y liberados a la atmósfera se encuentran el Cs¹³⁷ y el Sr⁹⁰ que tienen vidas medias de 28.1 años y 30.1 años, respectivamente.

Es muy importante señalar la similitud química de estos radionúclidos con el potasio y el calcio, respectivamente, que son iones de vital importancia para el organismo, lo que facilita la acumulación en los huesos, hígado, músculos, etc. Un factor que favorece su absorción es su solubilidad, ya que pueden entrar fácilmente a la cadena alimenticia.

Concentraciones de radionúclidos en el aire y en la tierra son muy elevadas debido a que tienen constantes de solubilidad muy grandes; en los seres vivos como las plantas y los animales, donde se encuentran cantidades anormalmente altas.

En los tejidos de los vegetales se detectan una gran diversidad de radionúclidos, en función del tipo de suelo, del cultivo y de la calidad del agua utilizada.

Desde 1958 se puede observar marcadamente que la presencia de los radionúclidos en los diferentes ecosistemas está asociado con la cantidad y tipo de pruebas nucleares realizadas. Actualmente la relación es menos precisa por la aparición de reactores nucleares para la producción de energía eléctrica en algunos países de los hemisferio norte y sur.

Las constantes fugas radioactivas tanto en Europa y en América como en Asia se han elevado marcadamente los niveles de los radionúclidos en los productos alimenticios y en el entorno. También se debe de tomar en cuenta la cantidad de radionúclidos de vida larga acumulados por las pruebas de bombas nucleares.

Un dato que se proporciona frecuentemente a la población científica es que un reactor nuclear libera a la atmósfera pequeñísimas cantidades de radionúclidos con valores de 1 milirem/año. Estas cifras sólo son congruentes con los reactores nuevos o con reactores teóricos, ya que en la realidad se ha visto que en estos últimos años se han incorporado a la atmósfera y por tanto a nuestro ambiente, cantidades mayores de radionúclidos a las previstas.

En los países afectados por las emisiones radioactivas del reactor de Chernobyl se prevee que los niveles de radioactividad artificial serán por un período mayor de tiempo muchas veces más que lo calculado para los accidentes nucleares. (4,8,10,11,12)

2.1.5 DETECTORES DE RADIACION

Los métodos de detección de partículas con carga o de radiaciones electromagnéticas se basan en sus interacciones con la materia que atraviesan. Estas interacciones producen ionización, o excitación de los electrones extranucleares y el funcionamiento de los diferentes detectores depende del resultado de estos procesos; por ejemplo, pueden causar fluctuaciones en un circuito electrónico, emisión de luz en un detector fluorescente, aumento en la temperatura o un cambio químico.

Probablemente la clase más común de detectores es la que se basa en la separación y colección de electrones y de iones positivos de un gas, de lo que resulta un flujo de corriente eléctrica o impulsos eléctricos en un circuito asociado.

Dentro de este grupo de detectores figuran las cámaras de ionización, los contadores proporcionales y el contador Geiger-Müller.

CAMARA DE IONIZACION

La cámara de ionización es un instrumento generalmente de forma cilíndrica, con dos electrodos para poder aplicar un campo eléctrico a un gas, la radiación electromagnética que atraviesa ese gas produce colisiones inelásticas con sus átomos y moléculas, ionizándolo con formación de iones positivos y electrones, que en ausencia de un campo eléctrico se vuelven a combinar para formar átomos neutros.

En algunos gases (los llamados electronegativos) los electrones pueden unirse a moléculas neutras y formar iones negativos.

Cuando se aplica una diferencia de potencial o voltaje a los electrones, los iones se mueven a lo largo de las líneas de fuerza y producen una corriente de ionización. En condiciones ordinarias los electrones se mueven a velocidades del orden de 10^3 cm/seg, mientras que el movimiento de los iones es de una magnitud mucho menor, pues sus colisiones con las moléculas del gas son más frecuentes, impidiéndoles alcanzar grandes velocidades.

Al someter una cámara de ionización a radiaciones ionizantes, al principio, al aumentar el voltaje se incrementa la medición de la corriente para luego alcanzar un nivel constante. En este rango de operación ocurre una recombinación de los iones, dando por resultado que el número de iones colectados es menor que el de iones formados.

Esta expansión súbita es un proceso adiabático que da por resultado un enfriamiento inmediato de los gases. Si al producirse éste estuviera moviéndose por la cámara una partícula ionizante, muchos de los iones formados servirán de núcleos de condensación y la trayectoria de la partícula quedaría trazada por una delgada fila de gotitas que al ser iluminadas lentamente, permitirían observar una huella ó una estela blanca.

Es relativamente fácil distinguir entre partículas α y β , pues las primeras producen cien veces más iones por unidad de longitud recorrida y por consiguiente, una estela mucho más densa. Con la aplicación de un campo magnético se diferencian fácilmente las partículas β^+ y β^- , conociendo la fuerza del campo magnético se pueden determinar sus energías por el radio de curvatura de sus estelas.

La cámara de niebla tiene el inconveniente de ser sensible sólo durante aproximadamente un segundo, después del cual pueden transcurrir de 20 a 30 segundos para alcanzar el equilibrio requerido para que ocurra otra exposición.

Históricamente el descubrimiento de la radioactividad fue resultado de las interacciones de los rayos β con los granos de haluro de plata en placas fotográficas. Hoy, aunque se dispone de tipos muy diversos y complicados de detectores de radiación, siguen usándose aún emulsiones fotográficas. En realidad, tienen muchas ventajas sobre los dispositivos modernos. Las emulsiones nucleares, se componen de una matriz de gelatina con una alta concentración de granos de bromuro de plata, mucho más pequeños que los usados en las películas ópticas. Normalmente estos granos tienen de 0.1 a 0.3 micras de diámetro.

La densidad de esta emulsión es casi cuatro veces la del agua lo que se debe principalmente al bromuro de plata, dando por resultado un detector con alto poder de frenado. Esto produce en la cámara de niebla estelas extremadamente cortas del orden de una micra de longitud. Mientras que en el caso del aire, recorrería varios metros, haciendo posible estudiar el mismo tipo de datos que se obtienen en la cámara de burbujas, pero con una resolución mucho mayor.

Aunque la emulsión es sensible hasta que se revela, no deberá exponerse durante demasiado tiempo, pues la imagen latente (no revelada) tiende a desvanecerse al transcurrir unas semanas.

(15,)

CONTADORES DE CENTELLEO

Actualmente el ojo humano ha sido desplazado por el fototubo multiplicador electrónico, que además de detectar destellos de luz muchos órdenes de magnitud más débiles, también permite contabilizarlos hasta un millón de veces por segundo.

El sulfuro de zinc se sigue empleando para la detección de partículas α , aunque también se usan muchas clases de sustancias fosforescentes, llamadas fósforo, para la detección de otras radiaciones. Las sustancias fosforescentes que se utilizan de forma ordinaria, son sales orgánicas ó inorgánicas que emiten radiofotones como consecuencia de la excitación o ionización de sus átomos por la transferencia de energía de los rayos α , β ó γ que inciden en ellos cuando los átomos regresan a su estado fundamental se emiten fotones en las regiones azul y ultravioleta del espectro óptico.

Las sustancias fosforescentes están acopladas a la envoltura del fototubo multiplicador, de modo que los fotones puedan incidir en el fotocátodo y producir una emisión de fotoelectrones, cuyo número es proporcional a la eficacia de convección del cátodo. Esta eficacia está en función de las características fotoeléctricas y de absorción óptica del material empleado y por lo general varían en el intervalo de 0.05 a 0.10 %. Dado que las longitudes de onda cambian según las diferentes sustancias fosforescentes, y como los diversos tipos de fototubos se caracterizan por las sensibilidades espectrales y materiales de su envoltura, es muy importante usar el fototubo apropiado para obtener mejores resultados. Por ejemplo, el vidrio es opaco a la radiación en las regiones de longitud de onda correspondientes a la porción ultravioleta del espectro, mientras que el cuarzo es transparente para las mismas longitudes de onda, por lo que estos materiales deben adecuarse al uso indicado. Vease figura No.7.

A medida que los electrones dejan el cátodo, son dirigidos por un electrodo de enfoque ó dinodo. Este electrodo tiene la propiedad de emitir 3, 4 ó 5 electrones por cada electrón que incide en su superficie, con una energía que pueden ser de 75 a 150 eV, de aquí su nombre de multiplicador electrónico. Puede haber de 10 a 14 etapas multiplicadoras en un tubo dado, cada una de ellas con un potencial multiplicador de 14 a 75 etapas multiplicadoras y diferencias de 75 a 150 volts entre una y otra. Por ejemplo, por emisión de un sólo electrón, proveniente del cátodo, en la etapa final del tubo puede incidir una lluvia de 100 millones de electrones en el ánodo, el cual suele ir conectado a una resistencia de

FOTO-TUBO MULTIPLICADOR DE UN DETECTOR.

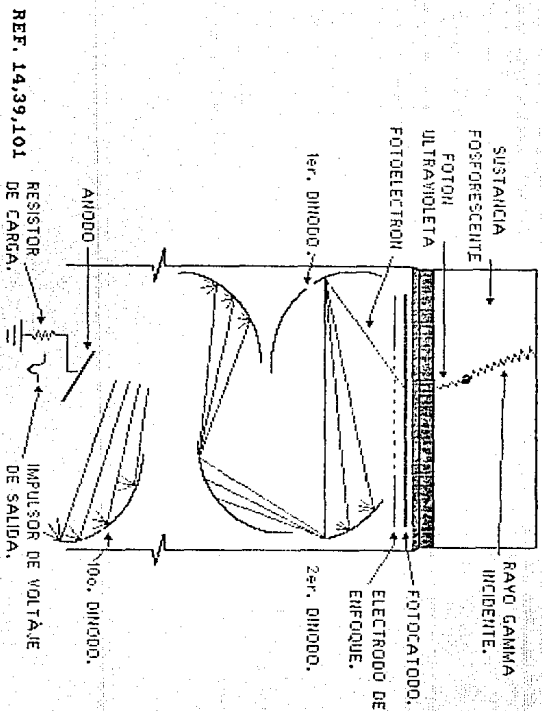


FIGURA No. 8

REF. 14,39,101

carga externa. Al fluir la lluvia de electrones por la resistencia se produce un pulso de voltaje negativo que es amplificado y analizado posteriormente por instrumentos electrónicos adecuados.

Actualmente la sustancia fosforescentes de uso más común para la detección de rayos X y γ es el cristal de NaI activado con alrededor del 0.1% de Talio ó Germanio. El NaI puro emite fotones en la región de 3000 Å, con alta eficiencia a la temperatura del nitrógeno líquido, -77 °K, pero baja a la temperatura ambiente. La incorporación del ión de Talio ó de Germanio altera el nivel de energía en la red, de tal modo que la luz es emitida eficientemente aún a temperatura ambiente y a una longitud de onda de 4300 Å, compatible con muchas de las características del cátodo del fototubo. El rendimiento de esta luz por Mev. absorbido es el más grande de los obtenidos con las sustancias de centelleo conocidas; su alta densidad y poder de frenado hacen de este producto un detector enormemente eficaz.

Para la detección de partículas β , se usan sustancias como el antraceno y el estireno, al igual que varias sustancias fosforescentes a base de plásticos comerciales de los cuales se dispone en muchas formas y tamaños. Los rendimientos de luz de todas las sustancias fosforescentes son casi directamente proporcionales a la energía absorbida, lo que las hace inadecuadas para estudios de espectrometría (distribución de energía.) Vease figura No.8.

TRAYECTORIA DE LAS NUBES RADIOACTIVAS.

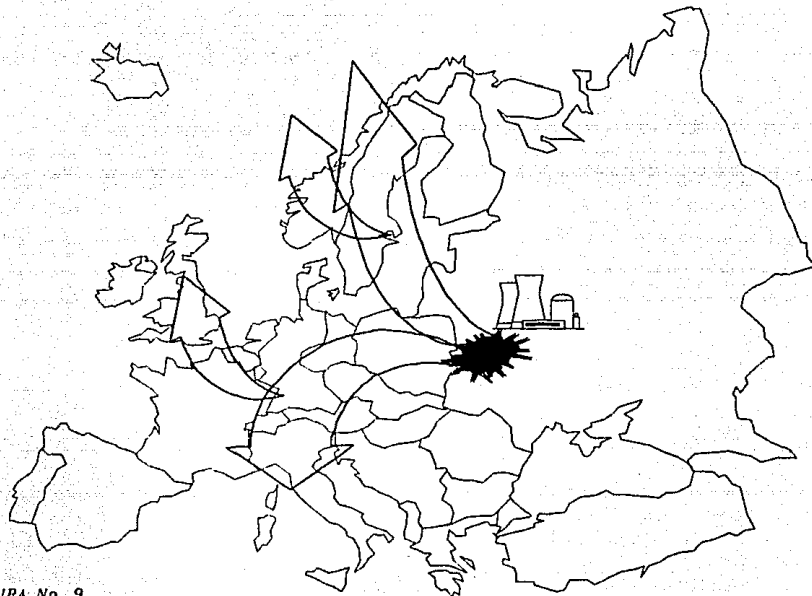


FIGURA No. 9

Otro tipo de contadores de centelleo es aquél en que la muestra radiactiva se disuelve en una solución que contiene sustancias fosforescentes. Cuando se emplea este método en líquidos se usa principalmente en los radionúclidos que se desintegran sólo por emisiones β , ya que ofrece ventajas, especialmente en muestras de emisores β de baja energía. También se usa con frecuencia en muestras que emiten partículas α y β con baja de actividad específica

El disolvente de la muestra y de la sustancia fosforescente tiene la función de aceptar la energía de la radiación ionizante y transferirla de modo eficiente a la sustancia fosforescente; los disolventes de uso común son Tolueno, Xileno y otros hidrocarburos o ésteres aromáticos. También son sustancias fosforescentes adecuadas los compuestos orgánicos cuyos espectros de fluorescencia están en el extremo del ultravioleta, por lo que es práctica común incorporar a la solución una sustancia fosforescente secundaria, que actúa como desplazador de la longitud de onda; el efecto neto es concentrar la energía de centelleo en la parte del espectro que puede ser detectada eficazmente por los fototubos.

La concentración de las sustancias fosforescentes primarias suele ser del orden de 5 a 10 gramos/litro de disolvente, mientras que la de las sustancias fosforescentes secundarias, es habitualmente de 1 gramo/litro.

2.2 ANTECEDENTES

2.2.1 ACCIDENTE DE CHERNOBYL

El accidente ocurrió el sábado 26 de abril de 1986 a la 1:23 de la madrugada en el interior de la unidad número 4 del reactor conocido como RBMK-1000, construido sólo en la URSS y del cual existen 15 en operación. Son reactores de ebullición, enfriados por agua y moderados con grafito.

El 25 de abril a la una de la madrugada dió inicio un experimento con un reactor inestable, en el cual se apagó el sistema de enfriamiento de emergencia. Por una mala manipulación por parte de los técnicos encargados del reactor se dio como consecuencia una explosión en el núcleo del reactor con una posterior liberación de grandes cantidades de radionúclidos a la atmósfera. Vease figura No.9.

2.2.2 FUGA DE RADIONUCLIDOS A LA ATMOSFERA

Como consecuencia de las explosiones nucleares y del fraccionamiento del edificio del reactor, se liberó a la atmósfera material radioactivo, constituido según el informe soviético, por aproximadamente el 4.7% del inventario del reactor.

Entre las emisiones se encontraban todos los gases nobles, principalmente el Kr⁸⁵, el Xe¹³¹ y el Xe¹³³, así como 10 a 20% de los productos fisionables volátiles. En las paredes interiores del reactor se condensaron otros materiales pesados.

Algunas de las sustancias radioactivas liberadas hasta el 6 de mayo se encuentran en la tabla 3.

De éstos el 25% salió el primer día, constituyendo la máxima emisión.

La emisión total fue de 10×10^6 Ci ó 3.7×10^{18} Bq.

Además de otros radionúclidos que se formaron en el interior del reactor al producirse la combustión del Uranio, en Chernobyl son: H³, C¹⁴, Rb⁸⁹, Sr⁸⁹, Sr⁹⁰, Sr⁹¹, Y⁹¹, Nb⁹⁵, Zr⁹⁵, Zr⁹⁵, Ru¹⁰³, Ru¹⁰⁶, I¹³¹, I¹³⁵, Te¹³², Cs¹³⁴, Cs¹³⁷, Ba¹³⁷, Np²³⁹, Ba¹⁴⁰, La¹⁴⁰, Ce¹⁴¹, Ce¹⁴⁴, Pr¹⁴⁴, Pm¹⁴⁷, W¹⁸⁵, Cm¹⁴², Nb²³⁹, entre otros.

Los de mayor importancia por tener relación con la cadena alimenticia son: Rb⁸⁹, Sr⁸⁹, Sr⁹⁰, Sr⁹¹, Y⁹¹, Nb⁹⁵, Ru¹⁰³, Rh¹⁰³, I¹³¹, Cs¹³⁷, Ba¹⁴⁰, Ce¹⁴¹, Ce¹⁴¹, Ce¹⁴⁴, Pr¹⁴⁴, Pm¹⁴⁷, W¹⁸⁵, La¹⁴⁰, Ru¹⁰⁶, Cm²⁴², etc.

(3,4,5,6,7,10,11,14,18,21,23,24,25,26,27,39,46,47,)

RADIONUCLIDOS EMITIDOS A LA ATMOSFERA EN LA
FUGA RADIOACTIVA DE CHERNOBYL.

ELEMENTO	VIDA MEDIA	RADIOACTIVIDAD	CANTIDAD	INVENTARIO
I^{131}	8 DÍAS	27×10^{13} Bq	60 gr	20%
Cs^{137}	30 AÑOS	37×10^{12} Bq	12 Kg	13%
Sr^{90}	28.5 AÑOS	8.1×10^{12} Bq	1.6 Kg	4%
Pu^{239}	2.44×10^4 AÑOS	26×10^8 Bq	11 Kg	3%

REF. 16,17,47

TABLA No. 1

Los primeros países donde se detectaron niveles de radioactividad elevada en el aire fueron Suecia, Finlandia, Austria, Yugoslavia, Bélgica, República Federal Alemana, Checoslovaquia, Polonia, Rumania y algunas partes de el suroeste de la URSS.

Una primera nube formada por la emisión del día 26 de abril fue transportada por el viento a la Península Escandinava (Suecia y Finlandia).

Una segunda nube avanzó por Europa central, hasta Italia y Yugoslavia; parte de ella se desvió hacia Holanda, Bélgica ó Inglaterra.

Otra nube más formada por las emisiones del día 28 de abril se dirigió al Norte y al este de la URSS.

Las emisiones de los días 29 y 30 tomaron el rumbo de los Balcanes, Rumania y Bulgaria, pero otra parte cubrió Austria, la República Federal Alemana y el norte de Italia.

Las últimas emisiones se dirigieron hacia Grecia, Turquía y el cercano Oriente.

En resumen, las radiaciones y los radionúclidos liberados por Chernobyl cubrieron casi toda Europa. Las dosis más bajas se registraron en España y Portugal.

La repartición de la radioactividad dependió de las lluvias, por lo que fue muy irregular, así tenemos que en el norte de Italia se registraron dosis muy altas, mientras Sicilia resultó ilesa. Igualmente en Inglaterra se detectaron enormes diferencias entre los elevados niveles de contaminación en el sur y los más moderados en el norte. Véase tabla No.2.

En los suelos de los 30 Km. que rodean al reactor averiado, el 17 de mayo se observaron 119 millones de Bequerels/m².

Los elementos medidos fueron Zr⁹⁵, Ru¹⁰³, Ce¹⁴¹, I¹³¹, Ba¹⁴⁰, Cs^{134/137}, Ru¹⁰⁶ y Te¹³².

En otros países se disponen de los siguientes datos:

PAIS	CANTIDAD DE RADIONUCLIDOS
Polonia	1000-200,000 Bq/m ² de I ¹³¹ .
Suecia	1000-170,000 Bq/m ² " "
Hungría	80,000-150,000 Bq/m ² " "
Finlandia	10,000-130,000 Bq/m ² " "

Para la República Federal de Alemania se disponen de muchas mediciones, de las cuales mencionaremos sólo las siguientes:

En las cercanías de MÚnich, de los mismos 9 elementos medidos por los soviéticos se obtuvieron el 14 de mayo 80,000 Bq/m².

Aquí los niveles más elevados fueron de los elementos más nocivos: el I¹³¹ con 25,000 Bq/m² y los isótopos de Cesio con 17,000 y 10,000 Bq/m² respectivamente.

La GSF (Sociedad para la Investigación de la Radiación y el Medio Ambiente) acepta que en pruebas aisladas el nivel más alto de Cs¹³⁷ al sur de Baviera fue de 44,000 Bq/m².

En el Jardín Inglés, el más grande de MÚnich, la actividad un año después es de 30,000 Bq/m². Antes del accidente los niveles eran de 5 Bq/m².

CLASIFICACION DE LOS RADIONUCLIDOS POR SU TOXICIDAD

TOXICIDAD	RADIONUCLIDO.
MUY ALTA;	⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y, ²¹⁰ Pb + ²¹⁰ Bi (Ra D+E), ²¹¹ At, ²¹⁰ Po, ²⁸² Ra, ²²⁷ Ac, ²³³ U, ²³⁸ Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴² Cm.
ALTA	⁹⁵ Ca, ⁸⁸ Y, ⁹¹ Ru, ¹⁰⁵ Rh, ¹⁰⁶ Ir, ¹³¹ I, ¹⁴⁰ Ba + ¹⁴⁰ La, ¹³⁹ Ce, ¹³⁹ Pr, ¹⁵¹ Sm, ¹⁵⁴ Eu, ¹⁷⁰ Tb, ²³⁴ Pa, ²³⁴ Th (natural), U (natural).
MODERADA	²⁴ Na, ³² P, ³⁸ Cl, ⁴² K, ⁴⁸ Sc, ⁵² Sc, ⁵⁶ V, ⁵⁸ Mn, ⁵⁶ Fe, ⁶⁰ Co, ⁵⁹ Ni, ⁶⁴ Cu, ⁶⁶ Zn, ⁷² Ga, ⁷⁶ As, ⁸⁶ Rb, ⁹⁵ Zr + ⁹⁵ Nb, ⁹⁵ Mo, ⁹⁹ Tc, ⁹⁶ Rh, ¹⁰⁶ Pd, ¹⁰³ Rh, ¹⁰⁵ Ag, ¹¹¹ Ag, ¹⁰⁹ Cd, ¹⁰⁹ Ag, ¹¹³ Sn ¹²⁷ Te, ¹²⁹ Te, ¹³² Cs, ¹³⁷ Ba, ¹⁴⁰ La, ¹⁴³ Pr, ¹⁴⁷ Pm, ¹⁵⁰ Hf, ¹⁵⁷ Hb, ¹⁷⁷ Lu, ¹⁸² Ta, ¹⁸¹ Hf, ¹⁸³ Re, ¹⁸³ Ir, ¹⁹² Ir, ¹⁹² Pt, ¹⁹³ Pt, ¹⁹⁶ Au, ¹⁹⁸ Au, ²⁰⁰ Tl, ²⁰² Tl, ²⁰⁴ Pb, ²⁰³ Pb.
BAJA	³ H, ⁷ Be, ¹¹ C, ¹⁴ C, ³¹ Cr, ⁷¹ Ge, ²⁰¹ Tl.

REF. 101

TABLA No. 2

También se determinaron niveles de radioactividad en los alimentos:

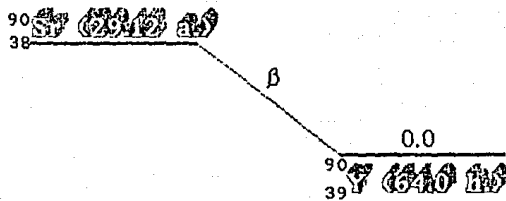
En la RFA se realizaron pruebas en carne, encontrándose niveles de Cesio de 3,700 Bq/Kg; en la leche se encontraron hasta 370,000 Bq/l de I^{131} y en los vegetales hasta 370,000 Bq/Kg. Sin embargo, la Comisión de Protección Radiológica de la Gran Bretaña llevó a cabo pruebas en vegetales contrabandeados de Kiev después del accidente, encontrándose mediciones record de 1'300,000 Bq/kg.

En cuanto a los valores límites en el consumo de alimentos, antes del accidente de la URSS se tenía como máximo promedio 3,700 Bq/l para la leche, que corresponde a 30 rem de I^{131} en la tiroides de los niños. Para otros alimentos no había un límite referente al contenido de radionuclidos sino únicamente un valor máximo en la contaminación tolerable de 5 rem para todo el cuerpo. De Austria se exportaron 500 toneladas de leche en polvo a Venezuela con un nivel de 1800 Bq/Kg.

Una estadística más completa es la de la República Federal Alemana, de la que se entresacaron los siguientes datos:

En las verduras de Baviera, hasta 20,000 Bq/Kg de I^{131} y 3,000 Bq. de Cs^{137} . En la leche, un promedio de 900 Bq/l de Iodo y Cesio en Baviera, con casos hasta de 12,000 Bq/Kg. de I^{131} y de Cs^{137} . Se encontraron casos de venados con 4.5 millones de Bq/Kg. (3, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 46 y 47.)

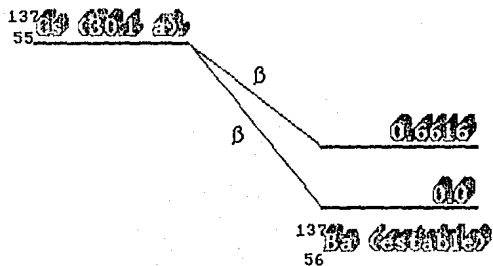
DECAIMIENTO RADIOACTIVO DEL ESTRONCIO ⁹⁰



REF. 135

FIGURA No. 10

DECAIMIENTO RADIOACTIVO DEL CESIO ¹³⁷



REF. 135

FIGURA No. 11

RADIONUCLIDOS DE IMPORTANCIA EN LA CADENA ALIMENTICIA.

RADIONUCLIDO	VIDA MEDIA	TIPO DE EMISION	SOLUBILIDAD EN AGUA DE LLUVIA
Sr ⁸⁹	51 DIAS	β	94.4%
Sr ⁹⁰	27.7 AÑOS	β	95.6%
Y ⁹¹	58 DIAS	β	52.4%
Zr ⁹⁵	65 DIAS	β γ	29.1%
Ru ¹⁰³	42 DIAS	β γ	-
I ¹³¹	8 DIAS	β γ	-
Cs ¹³⁷	30.1 AÑOS	β γ	70.0%
Ba ¹⁴⁰	13 DIAS	β γ	-
Ce ¹⁴⁴	285 DIAS	β γ	42.0%
W ¹⁸⁵	77 DIAS	β γ	54.6%

REF. 4

TABLA No.3

2.2.3 CICLO BIOLÓGICO DE LOS RADIONÚCLIDOS

Las grandes emisiones a la atmósfera de radionúclidos se depositan sobre la superficie de los cultivos (frutos y hojas) y en la superficie del suelo. Una fracción de los radionúclidos depositados sobre los cultivos es retenida mientras que otra parte de éstos es depositada en la superficie del suelo. La retención está relacionada con las características físicas y químicas de las partículas, con las áreas cultivadas, con las características estructurales y tipo de los cultivos así como también de la superficie de los suelos cubiertos por los mismos. También tienen relación con las características estructurales y fisiológicas de los vegetales y con el tipo de planta, así como con la distancia existente entre el suelo y las plantas.

La retención de los radionúclidos es disminuida por la remoción que producen los vientos en las superficies de los cultivos y por el lavado que dan las lluvias. La cantidad retenida de radionúclidos también está en gran medida dada por las ceras que se forman en la superficie de las hojas de las plantas.

Una vez que la absorción de los radionúclidos se ha llevado a cabo a través de la superficie, una fracción de los mismos, se translada a los tejidos internos. Este mecanismo es muy significativo cuando las partes de las plantas están directamente involucradas en el consumo de animales y humanos.

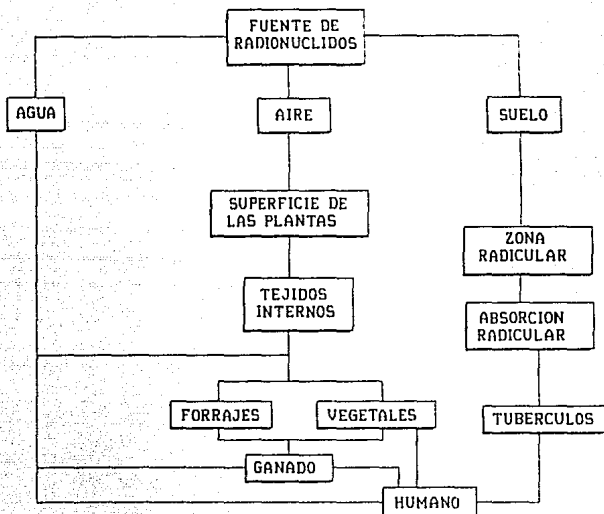
El material que se depositó en el campo puede ser resuspendido, por agentes físicos, y el de mayor importancia es el aire, el agua, etc. Posteriormente se deposita de nuevo en los cultivos, pudiendo también penetrar por los hoyos superficiales hasta llegar a la zona radicular de los cultivos donde los radionúclidos son absorbidos por las plantas. Esta función es realizada por las raíces y depende del tipo de suelo, las propiedades de las plantas y de los radionúclidos y de la forma de introducción a los tejidos de las plantas.

A medida que va transcurriendo el tiempo, va disminuyendo la absorción de radionúclidos por las raíces; tal disminución está en relación con la penetración a más profundidad de los radionúclidos en el suelo, alejándose de la zona radicular; también se encuentra fijación de los radionúclidos a los minerales del suelo.

Cuando los radionúclidos no son absorbidos inmediatamente por las raíces, se depositan en el suelo. La primera penetración ocurre como consecuencia de una combinación biológica y física en la superficie. Este proceso no es importante cuando se trata de radionúclidos con vidas medias cortas, pues en este caso decaen. Cuando se trata de radionúclidos de vida media larga, decaen en una cantidad despreciable y la absorción radicular es casi completa.

Cuando los cultivos no tienen un contacto directo con los radionúclidos que se hallan en el ambiente, la traslocación ocurre por medio de las partes expuestas como en el caso de las papas.

TRANSFERENCIA DE RADIONUCLIDOS EN LA CADENA ALIMENTICIA A EL HOMBRE.



REF. 4,5,6,7,81,84,85,122

FIGURA No. 12

Entre los factores de mayor importancia en esta acumulación, se encuentran:

Las características físicas y químicas de los radionúclidos contaminantes, su retención en el organismo y por tanto la retención y/o transferencia en la cadena alimenticia.

Un factor para conocer si un radionúclido será o no absorbido, es su solubilidad en agua. Por otra parte, la contaminación de este líquido depende de las características del suelo donde se depositan los productos radioactivos.

De los numerosos radionúclidos formados por la aplicación de energía atómica y los más importantes, por penetrar en la cadena alimenticia, están: Rb⁸⁹, Sr⁸⁹, Sr⁹⁰, y⁹⁰, Zr⁹⁵, Nb⁹⁵, Ru¹⁰³, Ru¹⁰⁶, Rh¹⁰⁶, I¹³¹, Cs¹³⁷, Ba¹⁴⁰, Ce¹⁴¹, Ce¹⁴⁴, Pr¹⁴⁴ y Pm¹⁴⁷.

De estos, los más representativos por el riesgos que representan son: Sr⁸⁹, Sr⁹⁰, I¹³¹ y Cs¹³⁷.

Cuando se realizaron pruebas a una muestra para estudiar su contenido cuantitativo de radionúclidos y si estos se dieron por contaminación proveniente de la fisión del Uranio, se observó un factor biológico importante, que es la solubilidad de las partículas contaminantes. Vease figura No.12.

Para que los radionúclidos sean absorbidos por las plantas, el requisito principal es que sean solubles en agua. Estudios realizados en trigo, maíz, frijoles, arvejas, lechugas, zanahorias y rábanos mostraron que la cantidad de radionúclidos incorporados por los vegetales y la solubilidad de los mismos están directamente relacionadas. Se obtuvo que la solubilidad en orden ascendente de los radionúclidos es como sigue:

$\text{Sr}^{89}, \text{Sr}^{90} >> \text{I}^{131} > \text{Cs}^{134}, \text{Cs}^{137}, \text{Ru}^{106} > \text{Ce}^{144}, \text{Y}^{91}, \text{Pm}^{147}, \text{Zr}^{95}, \text{Nb}^{95} > \text{Pu}^{239}$.

Otro factor de gran importancia es la concentración en la naturaleza, de los elementos que por sus características físicas y químicas son parecidos a los radionúclidos. Por ejemplo, cuando se encuentran grandes cantidades de calcio en la tierra y altas cantidades de Sr^{89} ó Sr^{90} , casi nada del Sr^{89} o del Sr^{90} se absorbe, pero cuando se tienen cantidades pequeñas o nulas de calcio en presencia de grandes cantidades de Sr^{89} o Sr^{90} , la cantidad de radionúclidos absorbidos es muy alta. Lo mismo pasa con el Cs^{134} y Cs^{137} y el potasio no radioactivo.

De igual manera el Cs^{134} y Cs^{137} compiten con el potasio y el rubidio por estar en el mismo grupo de la tabla periódica, tiene características muy parecidas aunque hay variación en el tamaño de su molécula.

ABSORCION DE RADIONUCLIDOS POR RAICES Y HOJAS

PROCESO	RANGO RELATIVO
ABSORCION FOLIAR	$Cs^{137} > Ba^{140} > Sr^{89/90} > Ru^{103}$
ABSORCION RADICULAR	$Sr^{89/90} > Ba^{140} > Cs^{137} > Ru^{103}$
REDISTRIBUCION	$Cs^{137} \gg Sr^{89/90} > Ba^{140} > Ru^{103}$

REF. 4

TABLA No. 4

La solubilidad también esta en función del tipo de anión con el cual esta unido el radionuclido. Se concluyó que las formas más solubles para el Sr^{89} y el Sr^{90} son el Cl^- y NO_3^{3-} , en tanto que los aniones SO_4^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, F^- , OH^- , CO_3^{3-} y HPO_4^{2-} son medianamente solubles.

En los suelos calcáreos el orden relativo de solubilidad es: Cl^- , NO_3^- >> SO_4^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ > F^- > OH^- > CO_3^{3-} > HPO_4^{2-} .

Para suelos ácidos no se encuentran diferencias significativas.

Si la cosecha está destinada al consumo humano, es posible la disminución de la radioactividad externa por los métodos de preparación, lavado y conservación; en el caso de frutas y legumbres es importante el lavado y pelado de los mismos.

Si el destino de las cosechas es el consumo animal (forrajes o semillas), parte de los radionúclidos su absorbidos por el sistema digestivo, pasando a través de la sangre para ser transferidos a varios tejidos y órganos, los cuales pueden ser ingeridos por el hombre. Vease figura No.4.

La concentración de la radioactividad en los productos animales como la carne, los huevos o la leche depende de los niveles de contaminación, de la cantidad de alimento contaminado ingerido, del metabolismo de los diferentes elementos radionuclidos y especialmente del rango de transferencia de los productos alimenticios y de los tejidos. Vease tabla No.3

Después del consumo de alimentos contaminados por el hombre, la concentración de radionúclidos depende del tipo de órgano en que se acumule.

También se da la contaminación directa en el hombre por medio de los radionúclidos suspendidos y resuspendidos. (4,7,).

La contaminación en la biósfera por productos de fisión radioactivos es una fuente de exposición a las radiaciones tanto externa como interna, por acumulación de radionúclidos en los tejidos de plantas y en mamíferos. Vease figura No.12.

En el intestino no hay una forma de transporte y absorción específicos para el Na (Sodio) y el K (Potasio), radioactivos o no radioactivos, por tanto se lleva acabo una competencia por su absorción; de hecho, todos los radionúclidos con características de solubilidad y cargas parecidas, compitan por la absorción en el intestino (4,) Vease tabla No.5.

De los productos de fisión del U^{235} hay dos que representan un gran peligro: el Cs^{137} y el Sr^{90} los cuales tienen vidas medias largas y una constante de solubilidad en el agua elevada. Por tener gran similitud con el calcio y el potasio, como ya se mencionó estos dos isótopos son muy peligrosos para los organismos que los utilizan. La acumulación de sus radionuclidos en los tejidos provocan una gran cantidad de radiaciones en el organismo.

Seguidamente de la fisión del U^{235} debido al bombardeo de neutrones atemperizados, se producen cerca de 170 radioisótopos de aproximadamente 35 elementos que pueden estar presentes en la atmósfera.

**ABSORCION INTESTINAL DEL CALCIO Y ESTRONCIO
EN DIFERENTES ESPECIES**

ESPECIE	CARACTERISTICA	ABSORCION DE	
		Ca	Sr
RATA	UNA SOLA DOSIS LIQUIDA	45	28
RATA	UNA SOLA DOSIS SOLIDA	19	13
RATA	DIETA A BASE DE LECHE *	56	38
RATA	PELLETS COMERCIALES *	29	10
CORDERO	UNA SOLA DOSIS ORAL	37	15
BECERRO	LACTANTE, DOSIS *	21	5
VACA	DOSIS DE LECHE *	10-21	3-7
VACA	UNA SOLA DOSIS DE LECHE	19	11
HOMBRE	UNA DOSIS, BAJA CONC. DE Ca *	—	10-25
HOMBRE	UNA DOSIS, ALTA CONC. DE Ca *	—	5-22
HOMBRE	DOSIS UNICA MAS Sr ESTABLE	53	20

* = ALIMENTO RADIOACTIVO

REF. 4

TABLA No. 5

En el momento de la fuga de algún reactor nuclear se pueden encontrar concentraciones elevadas de Sr^{89} , I^{131} y Ba^{140} ; de éstos el más peligroso a corto plazo es el I^{131} por su toxicidad para el organismo debido a su acumulación en la tiroides, la cual puede ocasionar cáncer en esa glándula y por tanto un desequilibrio hormonal. Además se puede encontrar en concentraciones elevadas en la leche de los mamíferos. La vida media de el I^{131} es de una semana aproximadamente, por lo que su concentración disminuye rápidamente.

Para las plantas tenemos:

En la cadena alimenticia se van acumulando cada vez más las cantidades de radionúclidos, debido a la vida media biológica de cada radionúclido en el organismo y a las características de las diferentes especies.

El elemento Sr (Estroncio) ocurre sólo en la naturaleza como ión bivalente y está clasificado junto con el magnesio, calcio, bario y radio en el grupo II A de la tabla periódica. El estroncio tiene características físicas y químicas comunes a los otros miembros de la serie de tierras alcalinas y una vida media biológica parecida a los otros, especialmente a la del calcio.

ACUMULACION DE DIFERENTES RADIONUCLIDOS EN EL CUERPO HUMANO.

Cs-137: CON UNA VIDA
MEDIA DE 30.1 AÑOS
AFECTA A EL CUERPO
ENTERO, ESPECIALME-
NTE HIGADO, MUSCULOS
Y BAZO.

Kr-85: PUEDE AFECTAR
A TODO EL CUERPO SU
VIDA MEDIA ES DE 10.7
AÑOS.

REF. 1,3,4,6



I-131: SE ACUMULA EN LA
TIROIDES. SU VIDA MEDIA
ES DE 8 DÍAS.

Sr-90: CON UNA VIDA MEDIA
DE 28.6 AÑOS SE ACUMULA
EN EL TEJIDO OSEO Y EN
LOS MUSCULOS.

FIGURA No. 13

El calcio y el estroncio son absorbidos por el tracto gastrointestinal primeramente como iones estructurales, ligados en forma considerable con las proteínas del plasma (aproximadamente en un 50%), después es ampliamente reabsorbido por los túbulos renales y depositado a continuación, en la fase mineral en los huesos. El calcio tiene funciones nutricionales, fisiológico y farmacológicos; el estroncio, también puede intervenir de igual manera.

El tracto gastrointestinal de los mamíferos tiene una capacidad limitada de absorción de estroncio, con diferencias además entre especie y especie. En la tabla No. 5 se puede observar la comparación de los diferentes factores de absorción entre el calcio y el estroncio.

En la tabla No. 5 se puede observar que el factor de absorción de calcio estroncio, está en un intervalo de 2 - 4.

Otros factores que influyen en la absorción del calcio y el estroncio son la edad del mamífero, su nivel de calcio y si se encuentra en etapa de lactancia, embarazo o preñez y crecimiento.

Hay datos que indican que la absorción del estroncio y del calcio que atraviesa el intestino representa una cantidad intermedia entre la magnitud de absorción de iones Na^+ y el K^+ (que son completamente absorbidos) y los iones Y^{2+} , Ce^{2+} y Fe^{2+} los cuáles son absorbidos muy limitadamente.

Estudios realizados en ratas indican que la absorción de $\text{Sr}^{89/90}$ en el estómago es de 2%; en el colon 8%, yeyuno, 17% duodeno; 7% íleo, 65%. Además se ha podido observar que cuando se expone a estos animales a radiaciones γ ó X en altas concentraciones y altas energías se puede afectar la actividad de la glucosa-oxidasa y de esta forma acumular el $\text{Sr}^{89/90}$ en el organismo, que puede causar daños posteriores.

Es de gran importancia mencionar que la cantidad de estroncio secretado endógenamente es más pequeña que la de calcio endógeno. Este trae como consecuencia una concentración elevada de los niveles de estroncio en el interior del individuo.

Cuando se acumulan el calcio y el estroncio en los huesos y dientes se puede observar que la cantidad del segundo es mayor, en tanto que la cantidad de estroncio intercambiado es menor a la de calcio, provocando una acumulación bastante rápida de $\text{Sr}^{89/90}$ en los huesos y dientes pudiendo presentarse grandes y muy severas consecuencias en la médula ósea.

El riñón juega un papel muy importante en el metabolismo de las tierras raras y elementos similares. El volumen de plasma total es reciclado a través de los tubos renales después de pasar por las nefronas; este proceso se realiza en 20 minutos aproximadamente. Uno de los papeles más importantes del riñón es mantener el balance ácido-base en la sangre, esto se lleva a cabo por medio del intercambio de iones y por lo cual esto tiene que ver con la secreción de los radionúclidos absorbidos.

EFFECTO DE PEQUEÑAS DOSIS DE RADIACIONES IONIZANTES.

DOSIS mr/semana	ESPECIE	EFFECTO PRODUCIDO.
100	HOMBRE	<i>Dudosa baja en la cuenta de globulos blancos.</i>
100	HOMBRE	<i>Se incrementa el número total de celulas anormales en la sangre.</i>
500	PERRO	<i>Ligera baja en la cuenta de espermatozoides.</i>
500	RATA	<i>Leucemia inducida.</i>
600	HOMBRE	<i>No hubo cambios significativos en sangre.</i>
770	RATON	<i>No disminuyo significativamente el tiempo de vida promedio.</i>
770	CUYO	<i>Reducción en la cuenta de linfocitos y plaquetas.</i>
770	RATON	<i>Inducción de tumores en ovarios, mamas y pulmones.</i>
2500	PERRO	<i>Reducción en la cuenta de linfocitos.</i>
2500	RATA	<i>Disminución del promedio de vida.</i>
4000	PERRO	<i>El 50% del grupo presento aspermia después de 1 semana.</i>
7700	RATON	<i>Cancer mamario inducido.</i>
7700	RATON (BDA)	<i>Criando, no fue afectado.</i>
7700	RATON	<i>Disminución de los folículos ováricos después</i>
7700	RATON	<i>Disminución de las espermatozonias en mitosis.</i>
7700	RATON Y CUYO	<i>Disminución en el peso de los testiculos.</i>
7700	CUYO	<i>Incremento en el número de casos de tumores en pulmon.</i>
15400	RATON	<i>Reducción en la cuenta de linfocitos.</i>
15400	RATON	<i>Reducción del promedio de vida.</i>
30800	RATON	<i>Leucemia inducida.</i>
30800	RATON	<i>Esterilidad inducida.</i>

REF. 9,14,15

TABLA No.6

El fluido plasmático pasa a través de los glomérulos, que realizan una ultrafiltración del suero, sólo los iones como el sodio, potasio, y el calcio, al igual que moléculas pequeñas como los citratos, pueden pasar a través de los glomérulos. Esto también puede suceder con los radionúclidos no asociados.

Aproximadamente el 99.5% del calcio filtrado es reabsorbido, mientras que el estroncio se reabsorbe en un 98.5%.

Uno de los grandes problemas para los mamíferos que han ingerido algunos radionúclidos, es el paso de éstos a través de la placenta. En los ratones se ha observado que la cantidad de estroncio es menor que la cantidad de calcio que pasa y es utilizada por el feto, en una relación de 1:5, en tanto que en las ratas se ha encontrado una relación de 1:1.7.

Todo lo anterior es válido para hembras gestantes con buenas características y buen estado nutricional, cuando se trata de hembras mal nutridas y con una dieta elevada en $\text{Sr}^{89/90}$ se observa una concentración elevada de radionúclidos en los fetos. Las hembras secretan en la leche aproximadamente el 0.1% de el $\text{Sr}^{89/90}$ absorbido por día.

De igual manera se ha observado el metabolismo del cesio y sus radionúclidos, que son el Cs^{134} y el Cs^{137} . El más importante de éstos es el Cs^{137} por tener una vida media mayor a 30 años y producirse en altas concentraciones en la fisión del Uranio aproximadamente 6.2%. Ambos pueden entrar en la cadena alimenticia del hombre o de otros mamíferos y ser absorbidos con las consecuencias posteriores.

El Cs¹³⁷ por tener características parecidas al potasio, y por encontrarse en grandes cantidades en fugas o pruebas nucleares y dada su gran solubilidad, es singularmente peligroso dado que presenta una absorción gastrointestinal bastante alta.

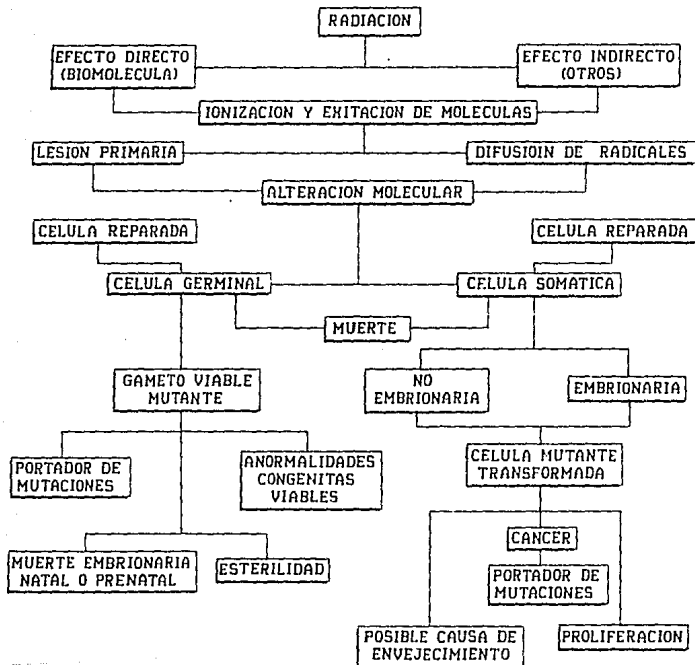
En diferentes experimentos en diversas especies de mamíferos se observó que la absorción gastrointestinal era aproximadamente de un 80-90% de las dosis administradas por vía oral. Además que esta absorción se realiza con gran rapidez (aproximadamente en 24 horas).

En inyecciones al lumen se observó que la absorción fue de 6.6%, 77%, 76%, 78%, 13% y 39% en el estómago, duodeno, yeyuno, íleo, ceceo y colon, respectivamente.

Esto indica que la mayor absorción fue en el duodeno, yeyuno é íleo. La secreción endógena del Cs¹³⁷ fue considerablemente pequeña, comparándose con la absorción. La secreción endógena se llevo a cabo en los intestinos grueso y delgado y fue aproximadamente del 25%.

La distribución del Cs¹³⁷ se da principalmente en el tejido muscular. Se puede observar que las concentraciones más elevadas se dan en mayor proporción en los músculos, con una actividad de 2:1. Vease figura No.13.

POSIBLES DAÑOS CAUSADOS POR LAS RADIACIONES.



REF. 111

FIGURA No. 14

Estudios en ganado después de una administración crónica de radionúclidos, han demostrado que la acumulación en los riñones es 1.8 veces mayor que en los músculos. También se puede notar grandes diferencias en las concentraciones encontradas en el cerebro y en los glóbulos rojos. Se cree que los demás tejidos tienen una impermeabilidad relativa en las membranas a la penetración del Cs¹³⁷.

El cesio y el potasio principalmente se encontraron en forma intracelular y también en concentraciones considerables en el exterior de las células y en el plasma. En el ganado la relación músculo/plasma es de aproximadamente de 20:1, esto dependiendo del peso de el animal.

En las vacas, la cantidad de Cs¹³⁷ que pasa a ser parte de la leche es el 8% de la cantidad absorbido diariamente, la relación de Cs¹³⁷/K en esta especie es de 1.4.

La transferencia de Cs¹³⁷ en la leche de cabra es casi la misma que el Cs¹³⁷ absorbido por las cabras en la lactancia, aproximadamente el 7% de la dosis absorbida pasa a ser parte del contenido de la leche.

La vida media biológica del Cs^{134/137} en el ratón es de 1.2 días, en la rata, 6.5 días, en el mono, 19.0 días, en el perro, 25.0 días y en el hombre, 110.0 días. Estos son promedios de varios estudios de diferentes autores, pero para el ser humano se pueden encontrar reportes con valores de 50 hasta 145 días.

En los perros, las concentraciones de $Cs^{134/137}$ en el feto dependen principalmente de las concentraciones de Potasio, Rubidio y Cesio en la dieta. Se pudo observar que la cantidad de $Cs^{134/137}$ en una dieta rica en potasio casi fue nula, mientras que en una dieta pobre en potasio y rica en $Cs^{134/137}$, la cantidad de éste asimilada por el feto es muy grande.

La vida media biológica del cesio varía en función de la especie, y a excepción de las vacas en que el $Cs^{134/137}$ tiene una vida media biológica de 15 días, en casi todas las especies se puede observar una relación entre la vida media biológica y el peso del animal. Se piensa que el ganado vacuno intercambia rápidamente el $Cs^{134/137}$, debido a la gran cantidad de potasio que consume.

En este tipo de ganado la transferencia de $Cs^{134/137}$ se realizó a los fetos a través de la placenta con una concentración muy similar a la del plasma de la hembra. Las concentraciones en el riñón y en los músculos del feto son menores a las encontradas en su plasma.

Para las cabras, la concentración en el plasma y la relación Cs^{137}/K fue la misma en ambos casos e igual a 1.

ENERGIAS PARA LA CUANTIFICACION DE RADIACIONES
EN EL ESPECTROMETRO DE CENTELLEO LIQUIDO.

RADIONUCLIDO	ENERGIA	RADIACION	TIPO
H ³	0 A 19 KeV	β	DEBIL
C ¹⁴	0 A 156 "	β	MEDIANA
P ³²	0 A 1700 "	β	FUERTE
H ³ /C ¹⁴	0 A 156 "	β	DEBIL Y MEDIANA
H ³ /P ³²	0 A 1700 "	β	DEBIL Y FUERTE
I ¹³¹	0 A 70 "	γ	DEBIL

REF. 39

TABLA No. 7

Debe hacerse notar que la formación de $\text{Sr}^{89/90}$ y de $\text{Cs}^{134/137}$ sólo se puede dar como resultado de la fisión nuclear del uranio y que no se encuentran naturalmente en el medio ambiente, ya que en la naturaleza este proceso sólo se da en cantidades despreciables debido a la falta de condiciones adecuadas de temperatura y presión y por ausencia de bombardeo con neutrones atemperados. Por tanto, es confiable tomar estos productos como medida de emisiones radioactivas en pruebas de bombas nucleares o en fugas en reactores nucleares. También es importante recordar la gran vida media que tienen los radionúclidos. (4,)

2.2.4 CONSECUENCIAS PRODUCIDAS POR LAS RADIACIONES

En la figura No. 6 se puede observar la secuencia de eventos que suceden a la interacción de las radiaciones con el material biológico.

En la etapa física, que dura aproximadamente 10^{-13} segundos, pueden distinguirse dos efectos o modos de acción: la acción directa, que involucra la absorción de energía por la ionización y la excitación y el desprendimiento nuclear o transmutación en las moléculas biológicas, donde la lesión eventualmente aparece. La absorción de energía puede provocar varios efectos en diferentes moléculas, por ejemplo en el agua, la formación de radicales libres u otras especies reactivas también pueden causar daño en la biomolécula.

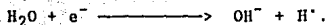
La etapa fisicoquímica dura aproximadamente 10^{-10} segundos. Una ionización o desplazamiento atómico puede producir una lesión primaria, seguida por un rompimiento de la molécula, ya sea directamente o seguida por la transferencia de energía intramolecular. La acción indirecta en agua resulta primero en la ionización del agua.



El ión positivo forma un radical hidroxilo:



Un radical hidroxilo (átomo) es formado por:



El hidrógeno y el radical hidroxilo pueden formarse por la disociación de una molécula de agua seguida por la excitación.

Como consecuencia de todos estos pasos se obtiene un electrón hidratado, de larga vida y estable, que puede causar daño a las biomoléculas; en células vivas el daño producido es directo e indirecto dependiendo de la energía de la radiación y de su cantidad.

En algunos casos, cuando existen concentraciones elevadas de oxígeno, se puede encontrar la formación de H_2O_2 y de radicales OH^\cdot . La temperatura es otro factor que influye en la cantidad de radicales libres formados.

La inactivación de las enzimas es muy frecuente, sobre todo cuando se trata de radiaciones de alta energía. El hecho de que las enzimas estén formadas por proteínas y éstas a su vez por aminoácidos acarrearán gran cantidad de problemas.

La alteración de algunas uniones peptídicas o de enlaces entre las cadenas de aminoácidos da lugar al cambio de la conformación tridimensional de los sitios de unión de la enzima con su sustrato, con su consecuente inactivación.

En la etapa biológica, el efecto se da por reacciones metabólicas; la observación de estos cambios puede tomar uno o varios años. A nivel celular, se puede distinguir una alteración en el DNA (ácido desoxirribonucleico) o en los cromosomas de células germinales y alteraciones en un cuerpo ordinario (célula somática). Los cambios en las células germinales pueden derivar en la supresión de alguna célula que esté relacionada con la reproducción (efecto genético), alterando la información genética.

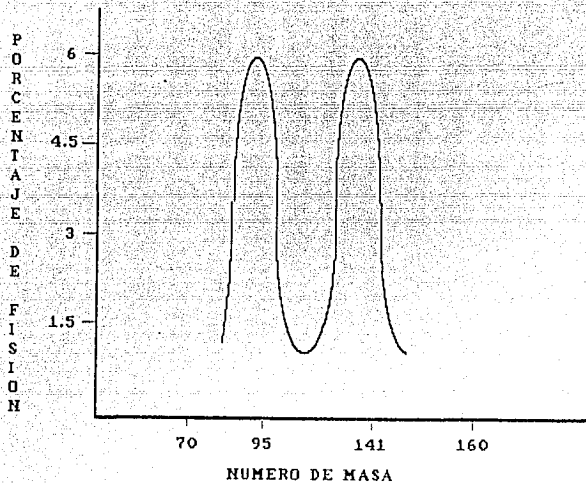
En las células no relacionadas con la reproducción los daños pueden expresarse en la información genética y causar la muerte de ésta o la formación de cáncer.

En el caso de que la célula alterada pertenezca a un feto, pueden aparecer cambios con grandes alteraciones, debido a que está en constante multiplicación. También es posible se de una disminución en el período de vida de la célula alterada y que se efectúen mutaciones, esto es, alteraciones en la secuencia del ADN. Hay que mencionar que la evolución de las especies está basada en las mutaciones, aunque estas mutaciones se dan en lugares de interés secundario para la reproducción del individuo o para la perpetuación de la especie.

Las radiaciones pueden ocasionar alteraciones en la estructura de el ADN. Ya que sus moléculas se inestabilizan en el momento de la interacción de la cadena o de la formación de diversas estructuras alterando su función en la reproducción.

Los productos que se forman en el momento de la exposición del ADN a las radiaciones, pueden ser a su vez los causantes de la alteración. En muchos casos son peores los efectos indirectos producidos por las radiaciones, que los directos. (49,50,51,52,53).
Vease tabla No.6.

PRODUCCION DE RADIONUCLIDOS EN LA FISION NUCLEAR



REF. 1

FIGURA No. 15

BIBLIOTECA CENTRAL

79

Una vez que se dan las mutaciones, el organismo tiene mecanismos de reparación por medio de los cuales se pueden disminuir algunos de los daños causados al ADN. La reparación de estos daños están controlados por enzimas, las cuales están adaptadas a la actividad que se tiene por los daños causados en condiciones normales, de tal forma que la aparición de condiciones extremas trae como consecuencia la insuficiencia en la actividad de estas enzimas. (137,138,)

Entre las alteraciones factibles que pueden darse están las de los cromosomas, con daños que van desde rompimientos del ADN hasta la afección del cromosoma entero. En los casos de un rompimiento de la cadena del ADN, se pueden dar reparaciones erróneas y en algunos casos, con consecuencias desastrosas, en el momento de reproducción de la célula. (139,140,141,142,143,144,)

Como el perfecto apareamiento de las dos hélices del ADN depende del acoplamiento de las bases, las modificaciones en la estructura de éstas originan distorsiones locales en la conformación de la doble hélice. Estas distorsiones de la doble hélice o cambios en la estructura tridimensional, aunque podrían parecer insignificantes, determinan alteraciones importantes de las funciones biológicas del ADN. Se comprende entonces, que la restauración de la integridad estructural del ADN, llevada a cabo por los procesos de reparación, sea crucial para la existencia y desarrollo de la célula.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

La importancia de la distorsión en la molécula de ADN varia según el tipo de alteración sufrida por las bases componentes. Los dímeros de pirimidina, por ejemplo, dan lugar a una distorsión distinta de la producida por la saturación del anillo de las pirimidinas y de la que resulta de la metilación del oxígeno 6 de guanina. Los diferentes tipos de distorsiones se repararan por mecanismos diversos que, no obstante, pueden compartir ciertas etapas. Si la reparación de una distorsión, empieza, por ejemplo, por la acción de una enzima que, tras detectar la anillada, actua sobre ella, esta etapa será realizada por diferentes enzimas, según el tipo de distorsión.

Otra enzima capacitada para la detección de grandes distorsiones es la correndonucleasa, que ademas de reconocer la alteración y de acoplace a ella, realiza un corte en la hélice por la lesión que origina la distorsión. Ademas otros tipos de enzimas que intervienen en la reparación del ADN son la exonucleasa, la polimerasa, la endonucleasa y la ligasa.

Las radiaciones son una de las principales causas de cáncer, el cual es un crecimiento incontrolado, una proliferación desordenada de células, con posible formación de tumores (neoplasias) en el tejido sólido; en caso de que las alteraciones sean en las células pluripotenciales, el resultado podría ser una leucemia, la cual se da en la medula ósea. (14) Otra alteración muy importante por exposición a radiaciones es la depresión del sistema inmune que trae como consecuencia una baja casi inmediata de los leucocitos, y después, una baja en los glóbulos rojos. Lo anterior deriva en una inmunosupresión en el individuo y bajando capacidad defensiva para contener a las infecciones. (44,)

Las células producidas después de una exposición a las radiaciones pueden estar alteradas genética o funcionalmente. En el caso de las personas irradiadas a niveles elevados de radiaciones, se observa la producción de granulocitos y linfocitos con baja o nula actividad defensiva.

Otro efecto que puede presentarse y que es de gran importancia, son las anomalías fetales. En estas alteraciones se tienen graves consecuencias pudiéndose encontrar casos en los que el feto muere, ya sea por la exposición a las radiaciones, o por la ingesta de radionúclidos que son absorbidos por el tracto intestinal de la madre y transportados por la sangre hasta la placenta, llegando al feto. (14,46,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,)

En el momento en que al feto le llegan por la placenta radionúclidos con características parecidas a otros elementos que generalmente intervienen en el metabolismo de los mamíferos, se pueden distribuir, almacenar o desechar de igual forma que los elementos similares.

La reducción de la fertilidad es otra más de las consecuencias que se pueden tener en el caso de la exposición a radiaciones o por la ingesta de radionúclidos en el organismo. En el primer caso, las radiaciones pueden atravesar los tejidos y llegar directamente a las gónadas y como consecuencia de su acumulación, darse la alteración de las células precursoras de los óvulos o de los espermatozoides. En este caso los daños causados pueden ser reversibles, dependiendo de la energía irradiada y el tiempo de exposición a las radiaciones. Véase figura No.14.

En el caso de que los radionúclidos se acumulan en las gónadas las consecuencias son irreversibles, en función de la cantidad acumulada, de su vida media biológica y de la etapa de desarrollo del feto.

En estos casos lo más frecuente es la esterilidad, a diferencia de los anteriores, en los cuales sólo se produce una infertilidad. (14,)

PARTE EXPERIMENTAL

3.0 PARTE EXPERIMENTAL

El siguiente trabajo se planeó debido a los graves consecuencias observadas en los países de Europa central causadas por las constantes emisiones radioactivas a la atmósfera de los reactores nucleares y las pruebas nucleares.

Como antecedentes se tienen:

a.-) El accidente ocurrido en un reactor nuclear del complejo nucleoelectrico de Chernobyl en la URSS, los daños causados a los países de Europa por las emisiones radioactivas. La posterior industrialización de gran cantidad de leche que presentaba altos niveles de radioactividad proveniente de Polonia, Checoslovaquia, Hungría, Rumania, Austria, Suiza, Alemania Oriental y Alemania Occidental. Esto desencadenó gran número de manifestaciones de grupos ecologistas en Alemania Occidental, los cuáles buscaban la destrucción de un cargamento formado por varios carros de ferrocarril repletos de leche en polvo con niveles elevados de radioactividad, que se encontraba en una base militar americana en Hanover.

b.-) México importaba leche en polvo y grasa butírica proveniente de los Estados Unidos y Canadá, dándose un cambio repentino en estas importaciones, para traer varios cargamentos provenientes de Irlanda del Norte. A pesar de que este país fue uno de los afectados por las nubes radioactivas, no se encontraron niveles elevados de radioactividad en la leche de vaca.

c.-) Las exportaciones de productos lácteos realizadas por Austria, Checoslovaquia, y Alemania Occidental a países en vías de desarrollo y entre ellos Venezuela, Namibia, Ghana y Tailandia.

Por lo anterior se decidió efectuar un estudio de los productos lácteos del mercado Mexicano, fijándose los siguientes objetivos:

1.- Cuantificar las radiaciones β y γ de productos lácteos comerciales.

2.- Identificar por medio de un Espectro- γ los radionúclidos presentes en los productos lácteos comerciales.

3.- Evaluar algunos efectos producidos por la ingesta de productos lácteos comerciales contaminados con radionúclidos producidos en la fisión nuclear del Uranio 235 .

3.1 METODOLOGIA

Se comenzó el estudio seleccionando diferentes productos lácteos distribuidos por LICONSA, entre éstos se encontraban leches evaporadas, leches en polvo, helados, chocolates, leches líquidas, leches para niños lactantes, etc.

Algunas de las marcas de algunos de los productos seleccionados fueron:

Nestlé-Carnation, Wyeth Vales, M. Johnson, LICONSA, Danone, Alpura, Tulancingo, Chipilo, Tepepan, La Laguna, Turfn e Iberia, entre otras.

Como primer paso se procedió a la cuantificación de radiaciones β y γ en los diferentes productos lácteos seleccionados, por medio de un Espectrómetro de Centelleo Líquido.

Posteriormente se escogieron otros productos lácteos de diversas marcas existentes en el mercado, tanto nacionales como extranjeras. Para la selección de los productos estudiados se tomó en cuenta que en su fórmula contuviera leche en polvo.

Antes de cuantificar las radiaciones se midió la densidad de los productos no pulverulentos, así como la humedad de los productos en polvo. Esto fué con el objetivo de simplificar los cálculos y que todos los resultados estuvieran dados en cpm/gramo de lácteos en estudio.

Para la medición de radiaciones se pesó un gramo, o su equivalente de leche en polvo, se vertió en un tubo vial y se procedió a disolver con 5 ml. de agua desionizada (previa medición de sus radiaciones), agitando las muestras en el Vortex hasta su disolución total. Una vez disueltas las muestras se les adicionaron 3 ml de Tritosol agitando fuertemente para lograr la homogenización de las fases e inmediatamente después se metieron al Espectrómetro de Centelleo Líquido por 1 minuto para el conteo de las radiaciones emitidas, teniendo para ello varias opciones. Los canales del aparato correspondían a diferentes energías y radiaciones, algunas de las cuales se muestran en la siguiente tabla No.7.

Los estudios se realizaron en H^3 , C^{14} , P^{32} y I^{131} .

Al seleccionar estos canales se estaban también seleccionando energías y tipos de radiaciones. Se escogieron estos canales porque se esperaban obtener las cifras más altas en las energías β débiles y medianas así como una cantidad pequeña de fuertes β y de radiaciones γ débiles en ausencia de radiaciones γ medianas y fuertes. Vease table No.7.

Para la selección de los canales se tomaron en cuenta varios factores, entre ellos que los radionúclidos fueran:

- Productos de fisión nuclear.
- Con vida media larga (esto es mayores de 40 días como mínimo).
- Con una actividad muy alta.
- Que se presenten en gran cantidad en la fisión del Uranio.

En la siguiente tabla se pueden observar los radionúclidos que son producto de la fisión del U^{235} y que cumplen con las características anteriores. También se pueden encontrar los radionúclidos de vida media muy larga presentes en la naturaleza, esto es, que se formaron cuando se formó la tierra y los radionúclidos que se encuentran en la tabla son los que se forman constantemente debido a los rayos cósmicos y que tienen una vida media relativamente pequeña. Vease figura No.15.

PRODUCTO DE LA FUSION DEL U^{235}

Radionúclido	Energía Mev's	Radiación	% en la naturaleza	% de PFN.	Vida Media
$1H^3$	0.018	β			12.4 a
$4Be^{10}$	0.56	β			2.7×10^6 a
$6C^{14}$	0.155	β			5720 a
$11Na^{22}$	0.58	β			2.9 a
	1.3	τ			
$16S^{35}$	0.17	β			87.1 d
$17Cl^{36}$	0.66	β			1×10^6 a
$19K^{40}$	1.4	β			1.3×10^9 a
	1.5	τ			
$21Sc^{46}$	0.36	β			85 d
		τ			
$22Ti^{51}$		β			72 d
	1.0	τ			
$23V^{49}$		τ			635 d
$25Mn^{54}$	0.84	τ			310 d
$26Fe^{55}$		τ			4.0 a

Continua...

$^{57}_{27}\text{Co}$	0.26	β^+			270 d
	0.12	τ			
$^{60}_{27}\text{Co}$	0.31	β			5.3 a
$^{59}_{28}\text{Ni}$	0.05	β			16.0 a
$^{63}_{28}\text{Ni}$	0.05	β			300 a
$^{65}_{30}\text{Zn}$	0.33	β			250 a
	1.13	τ			
$^{73}_{33}\text{As}$	0.052	τ			90 d.
$^{75}_{34}\text{Se}$		τ			125 d.
$^{85}_{36}\text{Kr}$	0.514	τ	1.57		10.76 a.
$^{84}_{37}\text{Rb}$					40.0 d.
$^{85}_{37}\text{Sr}$	0.8	τ			65 d.
$^{89}_{38}\text{Sr}$	1.470	β	5.9		54.55 d.
$^{90}_{38}\text{Sr}$	0.544	β			28.60 a.
$^{88}_{39}\text{Y}$	0.91	τ			105 d.
	1.89	τ			
	2.8	τ			
$^{91}_{39}\text{Y}$	1.548	β	5.9		58.51 d.
	1.21	τ			
$^{93}_{40}\text{Zr}$	0.27	β			63 d.
	0.94	τ			
$^{95}_{40}\text{Zr}$	1.130	β	6.4		64.02 d.
	0.724	τ			
	0.156	τ			
$^{93}_{41}\text{Nb}$	0.15	τ			42.0 d.
$^{95}_{41}\text{Nb}$	0.930	β			35.06 d.
	0.765	β			

Continua...

$_{43}\text{Tc}^{95}$	0.4	β			56 d.
		τ			
$_{43}\text{Tc}^{99}$	0.235	β		5.4	7×10^5 a.
	0.140	τ			
$_{44}\text{Ru}^{103}$	0.710	β		2.9	39.35 d.
	0.497	τ			
$_{44}\text{Ru}^{106}$	0.039	β		0.38	368.2 d.
	0.512	τ			
	0.622	τ			
$_{45}\text{Rh}^{102}$	1.1	β			210 d.
$_{47}\text{Ag}^{110m}$	2.869	β			282.85 d.
	0.659	τ			
	0.885	τ			
$_{48}\text{Cd}^{109}$		τ			250 d.
$_{50}\text{Sn}^{113}$	0.085	β			105 d.
$_{51}\text{Sb}^{125}$	0.74	β			60 d.
	2.45	β			
		τ			
$_{52}\text{Te}^{132}$	0.220	β			78.2 h.
	0.053	τ			
	0.231	τ			
$_{53}\text{I}^{131}$	0.810	β			8.04 d.
	0.284	τ			
	0.364	τ			
	0.637	τ			

Continua...

$^{132}_{53}\text{I}$	2.920	β		2.9	2.3 h.
	0.773	τ			
$^{129}_{53}\text{I}$	0.150	β		1.0	$1.5 \times 10^7 \text{ a.}$
$^{133}_{54}\text{Xe}$	0.343	β		6.5	5.27 d.
	0.081	τ			
$^{135}_{54}\text{Xe}$	0.019	β			
$^{134}_{55}\text{Cs}$	0.75	β			2.0 a.
	1.0	β			
	0.59	τ			
	0.79	τ			
$^{136}_{55}\text{Cs}$	0.3	β			13.3 d.
$^{137}_{55}\text{Cs}$	0.56	β		5.8	30.1 a
	0.662	τ			
$^{138}_{55}\text{Cs}$	3.4	β		5.9	33 m
$^{140}_{56}\text{Ba}$	1.2	β		6.0	300 h
$^{137}_{57}\text{La}$					400 a
$^{140}_{57}\text{La}$	1.4	β			41.4 h
$^{141}_{58}\text{Ce}$	0.60	β		6.1	29 d
	0.20	τ			
$^{144}_{58}\text{Ce}$	0.35	β		6.1	290 d
$^{143}_{59}\text{Pr}$	0.95	β			13.5 d
$^{147}_{60}\text{Nd}$	0.72	β			11.8 d
$^{143}_{61}\text{Pm}$		β			200 d
$^{147}_{61}\text{Pm}$	0.2	β			3.7 a

Continua...

$^{62}\text{Sm}^{145}$		β		150 d
	0.24	τ		
	0.95	τ		
$^{63}\text{Eu}^{147}$		β^+		53 d
$^{63}\text{Eu}^{152}$		β		6.1 a
$^{63}\text{Eu}^{154}$	0.9	β		6.0 a
$^{63}\text{Eu}^{55}$	0.2	β		2.0 a
$^{65}\text{Tb}^{55}$		β		155 d
$^{66}\text{Tb}^{55}$		τ		1.0 a
$^{65}\text{Tb}^{160}$	0.54	β		76 d
$^{65}\text{Tb}^{161}$	0.23	β		420 d
$^{67}\text{Ho}^{161}$		τ		60 d
$^{69}\text{Tm}^{168}$		β^+		100 d
$^{71}\text{Lu}^{172}$		τ		100 d
$^{72}\text{Hf}^{181}$		β		43 d
$^{73}\text{Ta}^{182}$	0.53	β		123 d
$^{74}\text{W}^{185}$	0.67	β		74 d
$^{75}\text{Re}^{183}$		β^+		80 d
$^{76}\text{Os}^{185}$		τ		96 d
$^{77}\text{Ir}^{192}$		β		60 d
$^{81}\text{Tl}^{206}$	0.87	β		3.5 a
$^{82}\text{Pb}^{210}$	0.025	β		22.0 a
$^{84}\text{Po}^{210}$	5.298	α		140 d
		τ		
$^{88}\text{Ra}^{228}$	0.053	β		6.7 a

Continua...

$^{227}_{89}\text{Ac}$	5.0	a	-		21.7 a
	0.22	t			
$^{228}_{90}\text{Th}$	5.418	a	-		1.9 a
		t			
$^{229}_{90}\text{Th}$	5.0	a	-		7×10^3 a
$^{230}_{90}\text{Th}$	4.66	a	-		8.3×10^4 a
		t			
$^{231}_{91}\text{Pa}$	5.05	a	-		3.3×10^4 a
$^{235}_{93}\text{Np}$	5.06	a	-		420 d
$^{239}_{94}\text{Pu}$	5.16	a	-		2.4×10^4 a
	0.3	t			
$^{242}_{95}\text{Am}$	5.2	a	-		400 a
$^{242}_{96}\text{Cm}$	6.1	a	-		150 d

a = años d = días h = horas m = minutos

PFN = Producto de Fisión Nuclear.

Para la selección de las energías de las partículas β y las radiaciones τ , se tomaron en cuenta aquellos radionúclidos que se pueden presentar en la cadena alimenticia del hombre y por tanto en los alimentos animales y vegetales.

Una vez cuantificadas las radiaciones β y τ en las diferentes muestras, se procedió a separar los productos lácteos en dos grupos. El primero de ellos estaba formado por los productos con cuentas de radiaciones elevadas y a los cuales se les llamó G-1. Al grupo de productos con bajas cuentas de radiación se les llamo G-2.

Posteriormente se eligieron dos productos de cada grupo, se tomaron dos productos en los que se cuantificaron cantidades elevadas de radiaciones y dos en los que los niveles de radiaciones fueran nomales.

Una vez conociendo cuales eran los productos con cuentas elevadas de radiación, se procedió a realizar un estudio en un Espectrometro- τ .

Para este ensayo se utilizó como representante del grupo G-1 una leche en polvo para lactantes de la marca Nestle y como representante del grupo G-2 se tomo una leche en polvo de la marca LICONSA.

Las muestras fueron puestas en tubos viales nuevos, pesando 3 gramos de cada una de ellas. A los viales se les adicionó tritiosol, se cerraron y se cuantificaron las radiaciones τ emitidas. El conteo para el producto representante del grupo G-1 fué de 12964 segundos y para la muestra G-2 fué de 10000 segundos. La diferencia entre el tiempo de conteo de las dos muestras fue por un error en el reloj del ordenador de impulsos.

Para la interpretación de los picos obtenidos se amplificaron las gráficas y se compararon pico a pico los dos espectros, esto es, se observaba el número de cuentas y la energía de los picos y después se comparaba con el pico que le correspondía en el otro espectro- τ . Para la selección de los picos se utilizó la técnica del doble cero. Una vez que se tuvieron todos los datos de los picos de los dos espectros- τ , se ordenaron en forma creciente de energía.

Con los datos obtenidos en el espectro- γ se buscó en tablas a los radionúclidos que probablemente los produjeron. Para ello se tomaron en cuenta sus vidas medias, ya que el ensayo se llevó a cabo 820 días después del accidente.

Conociendo los probables radionúclidos presentes en las muestras, se procedió a realizar varios ensayos en sistemas biológicos en los cuales se podrían observar los daños que causa la acumulación de radionúclidos en el organismo y por tanto la presencia de radiaciones en cantidades elevadas.

Para llevar a cabo los ensayos se buscó una dieta que pudiera contener a los lácteos como fórmula, optándose por la siguiente dieta:

Leche en polvo	45 %
Sacarosa	14 %
Dextrina	15 %
Dextrosa	12 %
Manteca animal	6.75 %
Aceite de maíz	5.07 %
Vitaminas	
(A, B ₁ , B ₂ , B ₆ y B ₁₂)	1.0 %
Colina	0.4 %
Celulosa	2.06 %
Minerales	0.25 %

(FeSO₄, CuSO₄ y MoSO₄.)

A la dieta del grupo G-1 se le llamó "Dieta G-1" mientras que la dieta de el grupo G-2 se le llamó "Dieta G-2".

La única variante entre la "Dieta G-1" y la "Dieta G-2" fué el tipo de leche en polvo utilizada. En la "Dieta G-1" la leche en polvo contenía cantidades elevadas de radionúclidos precursores de las radiaciones β y γ . Para la "Dieta G-2" se utilizó leche en polvo con baja cantidad de radionúclidos. Se procedió a administrarse las dietas G-1 y G-2 a los lotes respectivos: a 15 ratones hembras de 2 meses de edad y a 15 ratones machos de 2 meses de edad. Se mantuvo separados a los machos de las hembras por 12 días, en los cuales los ratones incorporaban en sus tejidos los minerales que contenían las dietas; en el caso de los radionúclidos, éstos también se incorporaban en los tejidos blancos, dependiendo de sus características químicas. Al 13' día se metieron las hembras de los lotes a aparearse con los machos correspondientes.

Es importante nombrar que los ciclos estrales de los ratones hembras son muy frecuentes y que una vez que están en ellos, permanecen así durante un lapso de 4 días, lo que hace bastante seguro el apareamiento.

Se aparearon por separado un macho con una hembra de cada lote para que no hubiera peleas ó muertos entre los machos. Se les mantuvo por 15 días en apareamiento y posteriormente se separaron las hembras de los machos de los dos grupos. Se observaron a las hembras durante 15 días para ver cuantas hembras quedaron gestantes.

Posteriormente se les mantuvo en apareamiento por 15 días y posteriormente se separaron las hembras gestantes de los machos y en el caso de las hembras que no entraron en gestación se les mantuvo con los machos en apareamiento.

En el caso de las hembras no gestantes, se les apartó y metió en apareamiento con machos que no tenían antecedentes de haber ingerido alimentos contaminados con radionúclidos. De igual manera, a los machos compañeros de las hembras no gestantes se les metió a aparearse con hembras que no habían comido alimentos contaminados con radionúclidos. Se les dejó en este apareamiento por 8 días y posteriormente se observaron a los ratones hembras de los dos casos por 15 días.

Aproximadamente a los 15 días del período de gestación se dió la dieta G-1 a 20 hembras gestantes y para la dieta G-2 a las restantes. En este ensayo se dejó la dieta hasta que se destetaran las crías.

Posteriormente se dió la dieta G-1 y G-2 a dos grupos, cada uno 10 ratones recién destetados y se les mantuvo en estas condiciones hasta que llegaron a la edad adulta.

La cantidad promedio de alimento de cada lote que comieron los ratones adultos fue de 4.5 gramos. (129,)

MATERIAL

3.2 MATERIAL BIOLÓGICO

Se emplearon ratones (Mus musculus) de la cepa CD-1 con las siguientes características:

- 30 Ratones machos de 3 meses de edad. (de 25 a 30 g)
- 30 Ratones hembras de 2 meses de edad. (de 20 a 25 g)
- 45 ratones hembras gestantes (con 11 días de gestación).
- 30 Ratones machos recién destetados. (de 15 g).

3.3 REACTIVOS

Se utilizaron las siguientes sustancias:

Tritosol, que es una mezcla de solvente que constituye el medio de reacción del centelleo, el cual contiene:

-DPO*	3 gramos.	
-Xileno	600 ml.	
-Tritón X 100	257 ml.	
-Alcohol etílico	318 ml.	
-Etilenglicol	37 ml.	
	<hr/>	
	1000 ml.	* = 2,5-difeniloxazol

Sacarosa

Dextrina

Dextrosa

Manteca Vegetal.

Aceite vegetal de maíz.

Vitaminas A, B₁, B₆ y B₁₂.

Cclina

Celulosa

Fe₃(PO₄)₂.

CuSO₄.

También se emplearon leches en polvo, sustituto de crema para café, cremas, mantequillas, leches líquidas, yogurts, leches en polvo para lactantes, entre otros. Todas los productos fueron de diferentes marcas comerciales.

3.4 INSTRUMENTAL

Los instrumentos utilizados fueron:

- 1 Espectrómetro de Centelleo Líquido. (TRI-CARB 4530 Packard).
- 1 Espectrómetro de Rayos γ , formado por:
 - 1 Detector de NaI sensibilizado con Germanio hiperpuro y a una temperatura de -70°C .
 - 1 Procesador de impulsos (Northen).
 - 1 Computadora Printaform con una tarjeta procesadora y ordenadora de impulsos (EG Ortec).
 - 1 Balanza Analítica.
 - 1 Agitador eléctrico (Vortex.)
- 35 Cajas de acrílico para ratones, con comedero y bebedero.
- 1 Rack para ratones de 40 celdas.
- 1 Refractómetro de Abbe.

RESULTADOS

4.0 RESULTADOS

La cuantificación de radiaciones en el Espectrómetro de Centelleo Líquido para las radiaciones β y γ fué de:

Radionúclido	Radiación	Energía	G-1 cpm.	G-2 cpm.	Fondo cpm.
^3H	β debil	0 a 19 Kev.	6256	65.55	50.3
^{14}C	β debil	0 a 156 "	9565	128.33	58.3
^{32}S	β fuerte	5 a 1700 "	10421	75.70	62.1
^{125}I	γ debil	0 a 70 "	10044	79.70	65.6

Como se recordará, para la realización de esta cuantificación se pesó el equivalente a un gramo de materia seca, por lo que todos los resultados obtenidos están en cpm/gramo.

Los resultados reportados anteriormente fueron obtenidos entre el 18 de Febrero de 1988 y el 30 de Septiembre de 1988.

Como se podrá observar, la cantidad de radiaciones beta débiles son superiores a las radiaciones beta de mediana energía y a las radiaciones beta de alta energía.

Sacando el porcentaje de radiaciones se obtienen los siguientes resultados:

Entre 0 y 19 Kev. se obtuvo el 60.02 % de las cpm; de 19 a 156 Kev's se obtuvo el 31.75 % de las cpm y de 156 y 1700 Kev's se encontró el 8.2 % de las cpm.

Después de amplificar cada espectro y de comparar los picos elevados encontrados en los dos espectros- γ , se encontraron estos resultados:

Pico	Energía KeV.	G-1 cuentas	G-2 cuentas	Probables radionúclidos
1	65	196362	544	$^{90}\text{Th}^{234}$.
2	85	84196	950	$^{90}\text{Th}^{234}$, $^{69}\text{Pm}^{234}$.
3	94	941161	869	$^{90}\text{Th}^{234}$
4	100	326864	917	$^{91}\text{Pa}^{234}$
5	113	158762	914	$^{63}\text{Eu}^{155}$, $^{71}\text{Lu}^{177}$, $^{72}\text{Hf}^{177}$.
6	133	37142	846	$^{55}\text{Cs}^{134m}$, $^{72}\text{Hf}^{181}$, $^{58}\text{Co}^{144}$
7	145.32	59220	774	$^{58}\text{Ce}^{141}$, $^{92}\text{U}^{235}$.
8	165.39	40847	594	$^{56}\text{Ba}^{139}$, $^{56}\text{Ba}^{140}$, $^{54}\text{Xe}^{131}$.
9	187.47	193839	534	$^{42}\text{Mo}^{101}$, $^{88}\text{Rn}^{226}$, $^{92}\text{U}^{235}$.
10	206.54	29195	417	$^{71}\text{Lu}^{177}$, $^{70}\text{Yb}^{169}$.
11	215.0	15842	373	$^{72}\text{Hf}^{180m}$, $^{52}\text{Te}^{132}$.
12	227.62	15593	337	$^{52}\text{Te}^{132}$, $^{54}\text{Xe}^{133m}$.
13	248.68	11945	264	$^{54}\text{Xe}^{135}$.
14	259.74	22338	227	$^{50}\text{Sn}^{113}$, $^{32}\text{Ge}^{77}$.
15	357.9	16242	221	$^{56}\text{Ba}^{133}$.
16	513.9	11678	197	$^{44}\text{Ru}^{106}$, $^{38}\text{Sr}^{85}$, $^{36}\text{Kr}^{85}$.
17	568.87	3486	59	$^{51}\text{Sb}^{122}$, $^{83}\text{Bi}^{207}$.
18	610.2	2835	61	$^{51}\text{Sb}^{125}$, $^{55}\text{Cs}^{134}$, $^{83}\text{Bi}^{214}$.
19	662.2	12300	169	$^{55}\text{Cs}^{137}$, $^{56}\text{Pm}^{137}$, $^{47}\text{Ag}^{110m}$.
20	742.5	4600	37	$^{40}\text{Zr}^{95}$, $^{42}\text{Zr}^{97}$, $^{38}\text{Sr}^{91}$.
21	765.59	11560	35	$^{41}\text{Nb}^{95}$
22	785.66	3097	34	$^{52}\text{Te}^{131}$
23	795.7	1527	33	$^{55}\text{Cs}^{134}$
24	880.0	1232	20	$^{47}\text{Ag}^{110m}$, $^{52}\text{Te}^{132}$
25	924.17	1023	20	$^{91}\text{Pa}^{234}$, $^{37}\text{Rb}^{88}$.

Continúa...

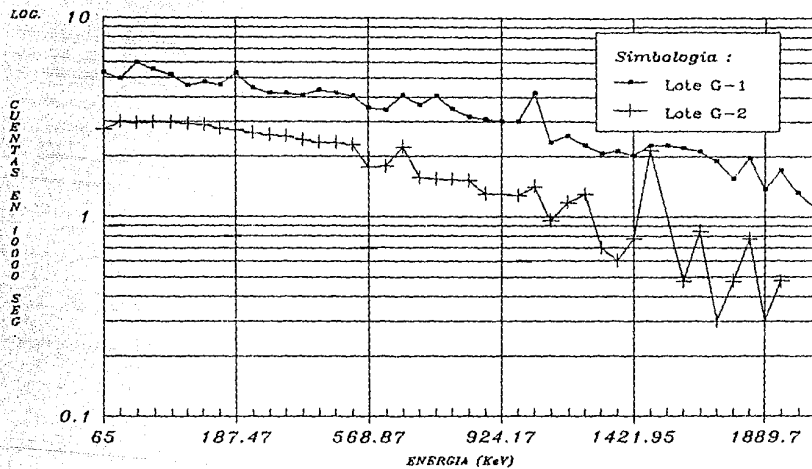
26	945.25	1041	19	$^{65}\text{Tb}^{160}$.
27	999.45	16272	26	$^{38}\text{Sr}^{91}$, $^{42}\text{Mo}^{101}$.
28	1124.9	227	9	$^{83}\text{Bi}^{214}$, $^{83}\text{Ta}^{182}$, $^{21}\text{Sc}^{46}$.
29	1190.15	344	15	$^{39}\text{Y}^{91}$, $^{27}\text{Co}^{60}$.
30	1234.3	193	20	$^{11}\text{Na}^{22}$.
31	1350.7	121	5	$^{11}\text{Na}^{24}$.
32	1398.87	135	4	$^{63}\text{Eu}^{152}$.
33	1421.95	106	6	$^{55}\text{Cs}^{138}$.
34	1456.0	190	141	$^{19}\text{K}^{40}$.
35	1596.3	194	1	$^{57}\text{La}^{140}$.
36	1602.7	163	3	$^{24}\text{Cl}^{38}$.
37	1691.8	134	7	$^{51}\text{Sb}^{124}$.
38	1760.1	81	2	$^{83}\text{Bi}^{214}$.
39	1785.1	36	3	$^{13}\text{Al}^{28}$.
40	1865.0	96	6	$^{37}\text{Rb}^{88}$.
41	1889.7	24	2	-
42	1899.7	51	3	
43	1930.86	21	1	
44	2606.33	13	0	

En los resultados obtenidos en los ensayos realizados con ratones se encontró lo siguiente:

Después de alimentar a los ratones hembras y machos, del grupo G-1 y G-2, todos ellos por separado, se les mantuvo 12 días con la dieta correspondiente a cada lote.

Espectro-Gamma

Lote G-1 y G-2

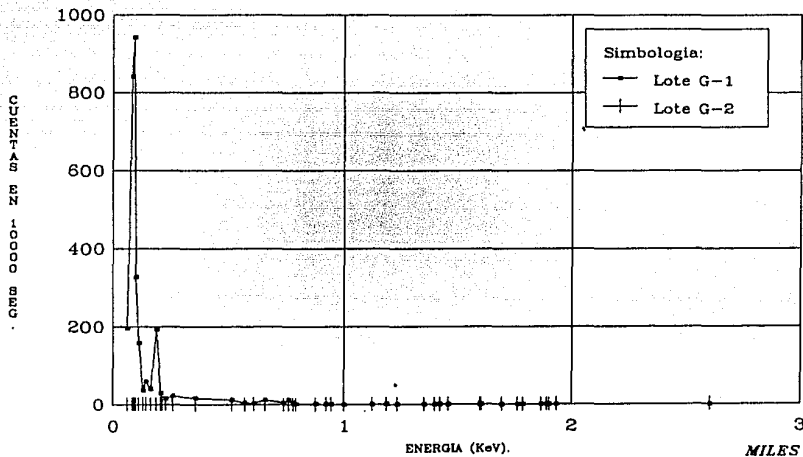


Grafica No.1

ESPECTRO GAMMA.

Lote G-1 y G-2

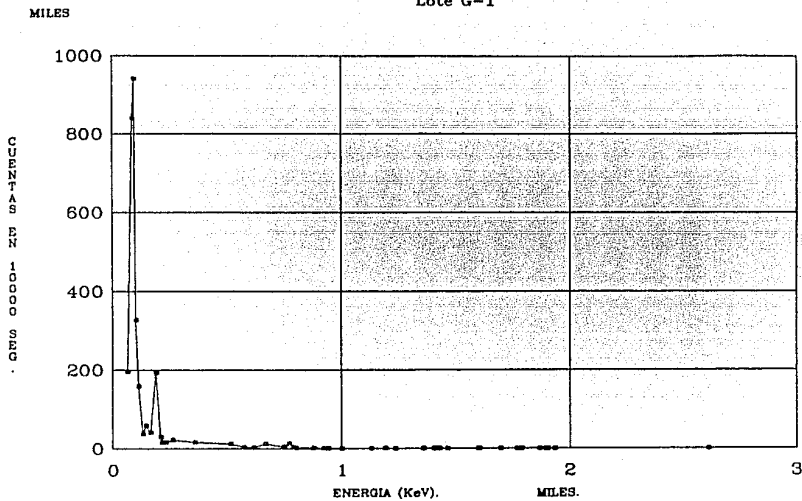
MILES



Grafica No. 2

ESPECTRO GAMMA.

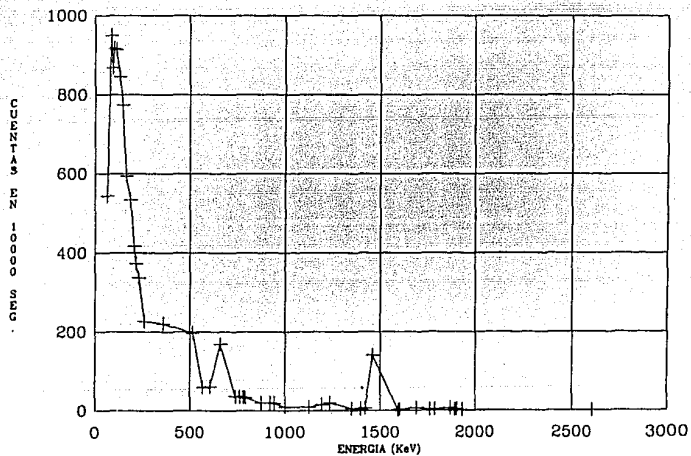
Lote G-1



Grafica No. 3

ESPECTRO GAMMA.

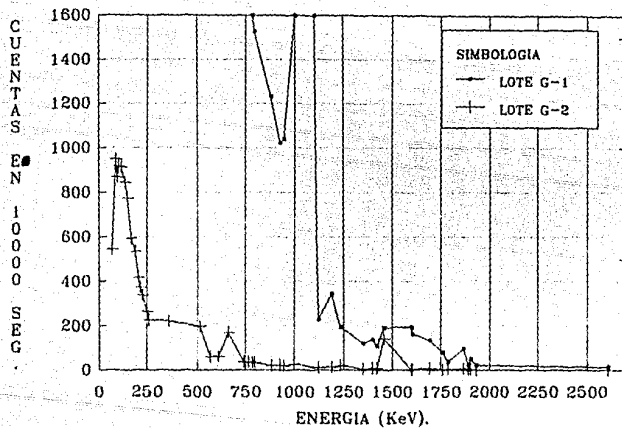
Lote G-2



Gráfica No. 4

ESPECTRO-GAMMA.

LOTE G-1 Y G-2.



GRAFICA No. 5

Los nacimientos fueron de los 20 a 29 días a partir de la fecha de separación del apareamiento. El número de crías que nacieron en promedio en el lote G-2 fue de 6 ratones por hembra.

En el grupo perteneciente a G-1 no se observó ninguna hembra gestante hasta el 29° día del apareamiento.

Grupo.	# de hembras gestantes.	% de hembras gestantes.	# de hembras muertas.
	hasta el 8° día.		
G-1	0	0	2 hembras
G-2	14	93.33	-

Grupo.	# de crías promedio.	# de nacimientos *
G-1	0	0
G-2	6	12

* Número de nacimientos entre el 20 y 29° día después de la separación de los ratones en apareamiento.

Un mes después de meter al apareamiento a machos y hembras se sacó a las hembras del grupo G-1, de las cuales ya habían muerto 4 y se les mantuvo en cajas aparte por dos días. En este período se les administró alimento comercial para ratones en pellets, no contaminado. Cumplido este tiempo se metieron a apareamiento a las hembras del grupo G-1, manteniéndolos así por 15 días. De igual forma, a los machos compañeros de las hembras anteriores

se les dejó 2 días separados y posteriormente se les dio alimento comercial no contaminado. Después de este tiempo se les metió a apareamiento con hembras nuevas que no habían comido alimento de la dieta G-1. Pasando los 15 días del apareamiento ninguna hembra estaba gestante, esto fué para los machos y hembras del grupo G-1 por separado.

Las crías que resultaron del apareamiento de los ratones hembras y machos del grupo G-2 se les dejó lactar con sus respectivas nodrizas y se les destetó a los 20 días de su nacimiento. A estos ratones lactantes se les separó una vez más en 2 grupos, a los de un grupo se les dio la dieta contaminada y a la otra mitad la dieta no contaminada perteneciente al lote G-2.

Transcurridos 7 días del inicio de las dietas, murió un ratón que comía la dieta G-1. Los rasgos de los ratones que comían la dieta contaminada comenzaron a suceder cambios el pelo, se les puso crespo, sin brillo y estaban generalmente inmóviles. Comparando la talla observada entre los miembros de los dos grupos se podía distinguir una marcada diferencia entre los ratones del grupo G-1 y los del G-2, siendo menor la del primer grupo lo que también se reflejó en el peso, observando además en el grupo G-1 una elevada mortalidad. En dos meses se murieron todos los ratones del grupo G-1, mientras que en el grupo G-2 no se observó ningún animal muerto. (73,)

CONCLUSIONES

5.0 CONCLUSIONES

Son evidentes los resultados obtenidos respecto a la cuantificación de radiaciones, la identificación de los radionúclidos productores de las radiaciones β y τ y los efectos causados a los ratones recién destetados, a las hembras gestantes y a los ratones maduros.

Se detectaron dos tipos de productos lácteos comerciales, los que poseían un elevado número de radiaciones β y τ , y los productos lácteos con un nivel bajo, normal de radiaciones.

Se consideró como límite superior de radiaciones β y τ 150 cuentas/minuto/gramo de leche seca. Entre los productos que contienen radionúclidos en una mayor cantidad y por tanto mayor número de radiaciones β y τ están:

Leche en polvo para lactantes, sustituto de crema para café, leches evaporadas en lata, chocolates, y varios productos que contienen en su fórmula leche en polvo. Los productos que tienen una cantidad baja de radionúclidos son:

Leche de vaca bronca, leches líquidas en recipiente tetrapak, mantequillas y yoghurts.

La relación entre la cantidad de radiaciones normales del grupo G-2 y las cuentas de radiaciones elevadas del grupo G-1 es: β débiles de 78.56 a 116.17 veces más el grupo G-1 que el G-2 β medianas de 62.83 a 78.66 veces; β fuertes de 121.68 a 157 veces y τ débiles de 97.2 a 159.3 veces.

En el Espectro- γ se pueden identificar dos tipos de radionúclidos, los cuales son productos del decaimiento del uranio o productos de la formación de la tierra; entre estos se encuentran: K^{40} , Rb^{87} , La^{138} y la serie de plomos como el Pb^{204} , Pb^{206} , Pb^{210} , entre otros. Otro grupo de gran importancia es el de los productos de la fisión nuclear de el U^{235} ; cuyos miembros más destacados son: Sr^{89} , Sr^{90} , Y^{91} , Zr^{95} , Ce^{144} , Zr^{97} , Ba^{140} , Cs^{137} , etc.

Entre estos últimos se encuentran elementos que pueden tener una vida media desde unos cuantos días hasta varios miles de años. Como ejemplo tenemos el caso del Cs^{137} que tienen una vida media de 30.5 años, el I^{129} con una vida media de 1.7×10^7 años y el Sr^{90} con una vida media de 28.5 años.

Otra característica de estos últimos radionúclidos es su gran solubilidad en el agua y por tanto en plantas y animales, por lo que pueden entrar con gran facilidad a la cadena alimenticia del ser humano con su posterior acumulación en los órganos blanco.

En este punto es importante decir que algunos de los productos lácteos comerciales son alimentos para lactantes, que pueden causar gran número de problemas. La ingesta y acumulación de radionúclidos podría tener o consecuencias posteriores, dependiendo de la cantidad de radionúclidos ingeridos y del peso del individuo.

La infertilidad provocada por la ingesta de lácteos comerciales en los ratones, la pérdida de la gestación y el mal desarrollo de los ratones lactantes son causadas por la acumulación de radionúclidos en los órganos internos del ratón.

Se observaron algunos animales de experimentación los cuales presentaron malformaciones en la cabeza, algunos otros en las extremidades inferiores (especialmente en el caso de las hembras gestantes).

En el comportamiento de los animales se observaron grandes diferencias, la movilidad de los animales que ingirieron alimentos lácteos contaminados fué mínima con respecto al lote de animales que ingirieron alimento no radioactivo.

La apariencia de los animales cambió completamente. El aspecto del pelo de los animales que ingirieron la dieta radioactiva era opaco, crespo y un aspecto más grasoso que el de los animales del lote que ingirió alimento no radioactivo.

Extrapolando los resultados obtenidos en los murínidos de experimentación y basandose en lo reportado en la tabla No.15 podemos predecir graves problemas en infantes y mujeres embarazadas que hayan ingerido alimentos contaminados con productos de fisión nuclear por un lapso prolongado de tiempo. En el caso de adultos que hayan ingerido alimentos contaminados, el tipo de daño esperado estará en relación con la cantidad de alimento ingerido, la predisposición a problemas geneticos, el estado nutricional, la dieta acostumbrada, etc.

BIBLIOGRAFIA

6.0 BIBLIOGRAFIA

- 1.- Comisión Federal de Electricidad. "Del fuego a la energía nuclear." *Ed. Reproducciones Fotometricas, S.A.* 1a. ed. México, (1987)
- 2.- RICKARDS, Cambell Jorge. "Las radiaciones: reto y realidades." *Ed. Fondo de Cultura Economica, S.A de C.V.* 1a. ed. México, D.F. (1986)
- 3.- MORONES, Armando y ESQUIVEL, Javier. "Laguna Verde. Contribución de México al holocausto pacifico?" *Ed. El Caballito, S.A.* México, D.F. (1987)
- 4.- LANNAM, Wright H. "Considerations of Biospheric Contamination by Radioactive Fallout". Chapter 1. *Radioactive Fallout, soil, Plants, Foods, Man.* Ed. by Eric B. Fowler. *Ed. Elsevier Publish. Co.* New México, U.S.A. (1965)
- 5.- KLEMENT, Alfred W. Jr. "Natural radionuclides in food Source materials." Chapter 6. *Radioactive fallout, soil, plants, food, man.* Edited by Fowler Eric B. *Ed. Elsevier Publishing Co.* New México, U.S.A. (1965)
- 6.- SEGOVIA, Nuria y BULBULIAN, Silvia. "La radioactividad en el ambiente." *Ciencia y Desarrollo.* septiembre-octubre. Núm. 70. año XII. México, D.F.
- 7.- KOCH, J., & TADMOR, J. "Radfood a dynamic model for radio activity transfer through the human food chain." *Health Phys.* 50: No.6;721-737 (1986)
- 8.- KAKU, Michio., & TRAINER, Jennifer. "La energía nuclear." 1a. ed. Buenos Aires, Argentina. *Ed. Gedisa* (1986)
- 9.- LINDELL, B. "Ionizing radiation and health."
- 10.- HOLMBERG, M., EDVARSON, K., & PINK, R. "Radiation doses in Sweden resultung from the Chernobyl fallout: a review" *Int. J. Radiat. Biol.* 54: No.2;151-166. (1988)
- 11.- BASIC, M., KASAL, B., SIMONOVIC, I., & JURIC, S. "1³¹ Dose to the human fetal thyroid in the Agred district, Yugoslavia, from the Chernobyl accident". *Int. J. Radiat. Biol.* 54: No.2; 167-177 (1988)
- 12.- HOFMAN, W., CRAWFORD-BROWN, D. J., & MARTONEN, T. B. "The radiological significance of β emitting hot particules released from the Chernobyl nuclear power plant." *Rad. Protec. Dosim.* 22: No.3;149-157 (1988)
- 13.- *Instituto de Investigaciones Nucleares.* "Información nuclear." Boletín informativo. vol. 1 y 2 No. 1 y 2. 1° de Junio y 1° de Julio de 1988
- 14.- PROFJO, Edward A. "Radiation shilding & dosimetry." *Ed. John Wiley & sons Interscience.* 1th. ed. U.S.A. (1979)
- 15.- MANN, W.B. "La radioactividad y su medida." *Ed. Reverte Mexicana, S.A.* 2a. ed. México, D.F. (1968)

- 16.- SEIFRITZ, W. "Unfallhergang und Ursache im Kraftwerk von Tschernobyl." *Konsequenze für die BRD, VDI-Dokumentation*, Düsseldorf, 4-9; (1986)
- 17.- Sieker, E. "Tschernobyl und die Folgen." *Bornheim-Merten*, (1986)
- 18.- EISENBUD, Merrill, et al. "¹³¹I Dose from Soviet Nuclear Testes." *Science*. 136: 370-371 (1962)
- 19.- KURADA, P.K., HODGFS, H.L. & MOORE, H.E. "Fallout from nuclear Detonations of February and April 1960" *Science*. 133: 1130- 1131 (1961)
- 20.- Hill, C.R., ADAM I., ANDERSON, W., OTTO R. J. & SOWBY, F. D. "¹³¹I in human thyroids in Britain fallout Chernobyl." *Nature*. 321: 655-656 (1986)
- 21.- PRINGE, D.M., VERMER, W.J. & ALLEN, K.W. "Gamma-ray spectrum of Chernobyl fallout." *Nature*. 321: 569 (1986)
- 22.- CSONGOR, E., KISS, A.Z., NYAKO, B.M. & SOMORJAI, E. "Chernobyl fallout in Debrecen, Hungary." *Nature*. 324: 216 (1986).
- 23.- ORLANDO, P., GALJEVLI, G., PERDELLI, F., & De FLORA, S. "Alimentary restrictions and ¹³¹I in human thyroids." *Nature*. 324: 23 (1986)
- 24.- SADAVISAN, S., MISHRA, U.C. "Radioactive fallout swipe samples from Chernobyl." *Nature*. 324: 23-24 (1986)
- 25.- WATSON, W.S. "Human Cs¹³⁷ levels in Scotland after Chernobyl." *Nature*. 323: 763-764 (1986)
- 26.- VAN DER VEEN, J., VAN DER WIJK, A., & MOOK, W.G. "Core fragments in Chernobyl fallout." *Nature*. 323: 399-400 (1986)
- 27.- ALEXANDROPOULOS, N.G, et al. "Chernobyl fallout on Ioannina, Grece." *Nature*. 322: 690-691 (1986)
- 28.- SMITH, F.B., & CLARK, M.J. "Radionuclide deposition from the Chernobyl cloud." *Nature*. 322: 691-692 (1986)
- 29.- ISLAM, S., & LINDGREN, K. "How many reactor accidents will there be ?" *Nature*. 322: 692 (1986)
- 30.- FALCONER, Ian R. "¹³¹I rumiant thyroids after nuclear releases." *Nature*. 322: 692 (1986)
- 31.- JONES, G.D., FORSTYTH, P.D., & APPLEBY, P. G. "Observation of Ag^{110m} in Chernobyl fallout." *Nature*. 322: 313 (1986)
- 32.- DONDIETTI, Ernest A., BRANTLEY, J. N. "Characteristics of Chernobyl radioactivity in Tennessee." *Nature*. 322: 313-314 (1986)
- 33.- HOHENEMSER, C, et al. "Agricultural impact of Chernobyl: a warning." *Nature*. 321: 817 (1986)
- 34.- THOMAS, A.J. & MARTIN, J.M. "First assessment of Chernobyl radioactive plume over Paris". *Nature*. 321: 817-819 (1986)

- 35.- AOYAMA, M, et al. "High level radioactive nuclides in Japan in May." *Nature*. 321: 819-820 (1986)
- 36.- HOLLIDAY, B., BINNS, K. C. & STEWART, S. P. "Monitoring Minsk and Kiev students after Chernobyl." *Nature*. 321: 820-821 (1986)
- 37.- WEBB, G.A.M., SIMMONS, J.R. & WILKINS, B. T. "Radiation levels in Eastern Europa." *Nature*. 321: 821-822 (1986)
- 38.- SALMON, Alen. "The Nuclear Reactor." Ed. John Wiley & sons Inc. 1a. ed. Edinburg, England. (1964)
- 39.- Operation Manual. United Technology Packard. 4000 Series Liquid Scintillation Counting. Packard Instrument Company, Inc. Zurich, Switzerland. (1984)
- 40.- ADAMS, J.A.S., & LOWDER, W.M. "The natural radiation environment" W. Marsh Rice University.
- 41.- HILL, C.R., JANORSKI, Z.S. "Lead ²¹⁰ in some human & animal tissues." *Nature*. 190: No.4773;353-354 (1961)
- 42.- DASCH, E. Julius., HILLS, F. Allan., & TUREKIAN, Karl K. "Strontium isotopes in Deep-sea sediments." *Science*. 153 No.3733; 295-297 (1966)
- 43.- KULP, J. Laurence & Shulert, Arthur R. "Strontium ⁹⁰ in Man V." *Science*. 136 No.3516; 619-632 (1962)
- 44.- ICHIKAWA, Ryushi., ETO, Masako., & ABE, Michiko. "Strontium⁹⁰ & Cesium¹³⁷ absorbed by rice plants in Japan, 1960." *Science*. 133; 1072-1073 (1962)
- 45.- RIVERA, Joseph. "Distribution of Strontium ⁹⁰ in a 1959 Wheat Sample." *Science*. 133; 755-756 (1961)
- 46.- VAN DILLA, M.A., FARMER, G.R. & BOHMAN, V.R. "Fallout radioactivity in cattle and its effects." *Science*. 133: 1075-1076 (1961)
- 47.- SCHMIDT, et al:"Die Folgen von Tschernobyl". 3a.ed., IFEU-Bericht No.43, Heidelberg, (1986)
- 48.- TRACY, Bliss L., WALKER, William B., & McGregor, Richard G. "Transfer to milk of ¹³¹I & Cs¹³⁷ released during the Chernobyl reactor accident." *Health Physics* 56: No.2;239- 243 (1989)
- 49.- PRINGLE, D. M., VERMER, W.J., & ALLEN, K.W. "Gamma-ray spectrum of Chernobyl fallout." *Nature* 321: 569 (1986)
- 50.- MOUNTFORD, P.J., & Coakley, A.J. "Transfer of radioiodine to milk and its inhibition." *Nature* 322 (1986)
- 51.- ICHIKAWA, Ryushi., ABE, Michiko., & ETO, Masako. "Evaluation of the origins of strontium⁹⁰ contained in Wheat plant." *Nature* 133: 2017-2018 (1961)

- 52.- RUSSEL, Robin Jones. "Cancer risk assessments in light of Chernobyl." *Nature* 323: 585-586 (1986)
- 53.- FAO-report. "Report of the consultation on recommended limits for radionuclide concentration of foods." *Food & Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). Rome. 1-5 December (1986)
- 54.- LEGGERTT, R.W. "Predicting the retention of Cs in individuals." *Health Phys.* 50: No.6;747-759 (1986)
- 55.- JOHNSON, J.E., WARD, G.M., ENNIS, M. E. Jr., & BOAMAH, K.N. "Transfer coefficients of selected radionuclides to animal products I. Comparison of milk & meat from dairy cows & goats." *Health Phys.* 54: No.2;161-166 (1988)
- 56.- TAWIL, Jack J., & STRNCE, Dennis L. "Using cost/risk procedures to establish recovery criteria following a nuclear reactor accident." *Health Phys.* 52: No.2;157-159 (1987)
- 57.- KOCHER, D.C. "Evaluation of a territorial food-chain model using natural analogs." *Health Phys.* 52: No.1;79-82 (1987)
- 58.- PARTANEN, J.P. & SAVOLAINEN, I. "Significance of contaminated food in collective dose after a severe reactor accident." *Health Phys.* 50: No.2 209-216 (1989)
- 59.- WICKER, F. Waed., & KIRCHNER, T.B. "Patway: a dynamic food chain model to predict radionuclide ingestion after fallout deposition." *Health Phys.* 52: No.6;717-737 (1987)
- 60.- CRYER, Merle A. & BAVERSTOCK, K.F. "Biological half-life of Cs¹³⁷ in Man." *Health Phys.* 23:394-395 (1972)
- 61.- VAN DEN HOEK, J., TEN HAVE M.H.J., GERBER, G.B. & KIRCHMANN, R. "The transfer of tritium-labeled organic material from grass into cow's milk." *Rad. Res* 94: 135-150 (1983)
- 62.- EBERHARDT, L.L., THOMAS, J.M., HAWTHORNE, H.A. & ZELLER, S.D. "Cesium¹³⁷ cycling in a Utah dairy farm." *Health Phys.* 30: 447-464 (1976)
- 63.- WARD, Whicker, F. "Radioactive transport processes in territorial ecosystems." *Rad. Res* 94: 135-150 (1983)
- 64.- GRASS, J., & MORROS, J.M. "Acción de la radiación sobre la respuesta inmunológica." Ed. JIMS. 1a. ed. Bracelona, España.(1975)
- 65.- CARTEN, A. L., CRONKITE, E. P. "Genetic & haematopoietic effects of long-term tritiated water ingestion in mice." Biological environmental effects of low-level radiation. vol. II. Internal Atomic Energy, Vienna, 1976. (IAEA-SM- 202/303)
- 66.- BLOOM, Eda T. "Delayed effects of low-dose radiation on cellular immunity in atomic bomb survivors residing in the United States." *Health Phys.* 52: No.5;585-591 (1987)

- 67.- SRIVASTAVA, G.K., RAGHAVAYYA, M., KOTRAPPA, P., & SOMASUNDRAM, S. "Radium²²⁶ body burden in U miners by measurements as Rn in exhaled breath." *Health Phys.* 50: No. 2;217-221 (1986)
- 68.- BROCK, William A., MAOR, Moshe H & PETERS, Lester J. "Predictions of tumor response to radiotherapy." *Rad. Res* 104: S-290-S-296 (1985)
- 69.- FRY, R.J.M., POWERS-RISIUS., ALPEN, E.L. & AINSWORTH, E.J. "High-LET radiation Carcinogenesis." *Rad. Res.* 104: S-188-S-195 (1985)
- 70.- LIN Hsiu-San & HSU Shin. "Effects of dose rate and dose fractionation of irradiation on pulmonary alveolar macrophage-forming cells." *Rad. Res* 103: 260-265 (1985)
- 71.- ELY, Melvin J., SPEICHER, James M., CATAVRAS, George N. & SNIDER, Stephan L. "Radiation effects on Diamine Oxidase activities in intestine and plasma of the rat." *Rad. Res* 103: 122-134 (1985)
- 72.- KOCHER, D.C. "Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electrons." *Health Phys.* 45: No.3;665-686 (1983)
- 73.- EWING, David. "Synergic damage from H₂O₂ and OH radicals in irradiated cells." *Rad. Res* 94: 171-189 (1983)
- 74.- KOHN, Henry I. "Radiation genetics: the mouse's view." *Rad. Res* 94: 9 (1983)
- 75.- LATARJET, Raymond, M.D. "Radiation in relation to carcinogenesis and mutation." *Fundamental aspects of genetics in Carcinogenesis*. New York U.S.A (1979).
- 76.- HAAS, Felix L. & DOUDNEY, Charles O. "Genetic replication of carcinogenesis." *Fundamental aspects of genetics in Carcinogenesis*. Ed. John Wiley Co.
- 77.- LEGGETT, R. W. "Predicting the retention of Cs in individuals." *Health Phys.* 50: No.6;747-759 (1986)
- 78.- JOHNSON, J. E., WARD, G. M., ENNIS, M.E. Jr. & BOAMAN, K.N. "Transfer coefficients of selected radionuclides to animal products. I. Comparison of milk & meat from dairy cows & goats." *Health Phys.* 54: No.2;161-166 (1986).
- 79.- GATTAVECCUUA, E., GHINI, Gori G., CAMMA, G. & GUERRNSI, I.E. "Cesium¹³⁷ levels in breast milk & placenta after fallout from the reactor accident a Chernobyl." *Health Phys.* 56: No.2;245-248 (1989)
- 80.- TRACY, Bliss L., WALKER, William B. & MCGREGOR, Richard G. "Transfer to milk of I¹³¹ & Cs¹³⁷ released during the Chernobyl reactor accident." *Health Phys.* 56: No.2;239-243 (1989)
- 81.- HAWTHORNE, H. A. & Zellmer, S. D. "Cs¹³⁷ Cycling in a Utah dairy farm." *Health Phys.* 30: No.447-464 (1976)

- 82.- KOCHER, D. C. "Evaluation of a terrestrial food-chain model using natural analogs." *Health Phys.* 52: No.1; 79-82 (1987)
- 83.- PARTANEN, J.P. & SAVOLAINEN, I."Significance of contaminated food in collective dose after a severe reactor accident." *Health Phys.* 50: No.2; 209-216 (1986)
- 84.- WICKER, F. Ward & KIRCHNER, T.B."Pathway: a dynamic food chain model to predict radionuclide ingestion after fallout deposition." *Health Phys.* 52: No. 6; 717-737 (1987)
- 85.- KOCH, J. & TADMOR, J."Radfood a dynamic model for radioactivity transfer through the human food chain." *Health Phys.* 50: No.6;721-737 (1986)
- 86.- ETTENHUBER, E. & LEHMANN, R. "The collective dose equivalent due to the naturally occurring radionuclides in building materials in the German Democratic Republic. Parte 1: External exposure." *Health Phys.* 50: No.1;49-56 (1986)
- 87.- STERN, Curt."Principles of human genetics." Ed. W.H. Freeman & Co. San Francisco Cal. U.S.A..1973. 3th. ed.
- 88.- BLOOM, Eda T. "Delayed effects of low-dose radiation on cellular immunity in atomic bomb survivors residing in the United States." *Health Phys.* 52: No. 5; 585-591 (1987)
- 89.- BROCK, William A., MAOR, Moshe H. & PETERS, Lester J. "Prediction of tumor response to radiotherapy." *Rad. Res* 104: S-290-S-296 (1985)
- 90.- FRY, R. J. M., POWRES-RISIUS., ALPEN, E.L. & AINSWORTH, E.J. "High-LET Radiation Carcinogenesis." *Rad. Res* 104: S-188-S-195 (1985)
- 91.- BARENSEN, G.W."Comparison of transformation, Chromosome aberrations, and reproductive death induced in cultured mammalian cells by Neutrons of different energies." *Rad. Res*104: S-158-S-164 (1985)
- 92.- WARD, J. F. "Biochemistry of DNA lesions." *Rad. Res* 104: S-103-S-111 (1985).
- 93.- GOODHEAD, Dudley T. "Saturable repair of radiation action in mammalian cells." *Rad. Res*104: S-58-S-67 (1987).
- 94.- LIN, Hsiu-San & HSU Shin. "Effects of dose rate and dose fractional of irradiation on pulmonary alveolar macrophage colony-forming cells." *Rad. Res* 103: 260-265 (1985).
- 95.- ELY, Melvin J., SPEICHER, James M., CATAVRAS, George N. & SNYDER, Stephen L. "Radiation effects on Diamine Oxidase activities in intestine and plasma of the rat." *Rad. Res* 103: 158-162 (1985)
- 96.- FABRY, L., LEONARD, A. & WAMBERSIE, A. "Induction of chromosome aberrations in G¹ human lymphocytes by low doses of ionizing radiations of different quality." *Rad. Res* 103:122-134 (1985)

- 97.- VAN DEN HOEK, J., TEN HAVE M.H.J., GERBER, G.B. & KIRCHMANN, R.
"The transfer of tritium-labeled organic material from grass into cow's milk." *Rad. Res* 103: 105-113 (1985).
- 98.- THOMSON, John F., WILLSON, Frank S. & GRAHN, Douglas. "Life shorting in mice exposed to fission neutrons and t-rays." *Rad. Res* 103: 77-88 (1985).
- 99.- MOORE, Ruth C. "Alteration in frecuencies of diferent classes of chromosome aberrationns throughout the first cell cycle following X irradiation." *Rad. Res* 81: 267-281 (1980)
- 100.- GOLDSTEIN, G., & Reynolds, S.A. "Specific Activities & Half-lives of common Radionuclides." *Nuclear Data A. 1*: No. 5; 435- 452 (1966)
- 101.- FAIRES, R. A. & Parks B.H. "Radioisotopos tecnicas de laboratorio." Ed. EUDEBA. 1a. ed. Buenos Aires, Argentina (1960).
- 102.- McKIWN Robin. "Isotopos fabulosos." Ed. LIMUSA-WILEY. México, D.F. 1a. ed. (1965)
- 103.- KITAIGORODSKI, A.L. "Fotones y Núcleones." Ed. *Mir Moscú*. U.R.S.S. (1985)
- 104.- CORK, James M. "Radioactivity & nuclear physics." Ed. *D. Van Nostrand Company, Inc.* 2th. ed. Princeton, New Jersey U.S.A. (1956)
- 105.- HERCULES, David M. "Flourescence & Phosphorescence analisis principles & applications". Ed. *John Wiley & sons, Inc.* England, (1966)
- 106.- SIMMONS, M.L. "The laboratory mouse." *Princeton-Hall, Inc.* Englewood Cliffs, New Jersey U.S.A. (1970)
- 107.- MENA, Delgadillo Jose Jesus. "Diseño de un discriminador rapido para detectores de centelleo plastico." Tesis. *Facultad de Ciencias*. Ciudad Universitaria. México, D.F. (1983)
- 108.- SOSA, Melgarejo Jesus Rafael. "Determinación de Sr⁹⁰ en leche." Tesis. *Facultad de Veterinaria y Zootécnia*. Ciudad Universitaria. México, D.F. (1983)
- 109.- UNDERWOOD, Eric J. "Trace elements in Human and Animal nutrition." Ed. *Academic Press*. 4th. ed. New York, U.S.A. (1977)
- 110.- ALEXANDER, Peter. "Atomic Radiation & Life." *Collogravure plates by Harrison & sons. Ltd.* London, Great Britain. (1973)
- 111.- CORTINAS, Cristina de Nava. Ostrosky Patricia de Wegman y Galván H. Silvia C. "Principios de mutagenesis y su relación con Carcinogenesis y Teratogenesis". México D.F. *UNAM Instituto de Investigaciones Biomedicas*. Ciudad Universitaria.
- 112.- LEDERER, C.M., Hollander, J.M. & Perlman, I., "The Table of isotopes." 6th. ed New York. *John Wiley & sons Inc.* (1967)
- 113.- BEYNON, J.H. "Mass spectrometry & its applications to organic chemistry." Ed. *Elsevier Publishing Co.* Manchester, England. 554-627 (1960)

- 114.- STERGLASS, E.J. "Evidence for low-level radiation effects on the human embryo and fetus." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washinton 1969. U.S Atomic Energy Commision.
- 115.- ROSENTHAL, Harold L. "Accumulation of enviromental Sr⁹⁰ in teeth of children." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washinton U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 116.- PALMER, R.F., WATSON, C.R. & BREMER, J.L. "Radiation dose to fetuese of miniature swine ingestion Sr⁹⁰". *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washinton. U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 117.- SCHULERT, A.R., GLASSER, S.R., STANT, Jr., BRILL, E.G. "Develoment of placental discrimination among homologous elements." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washinton. U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 118.- HOPKINS, B.J.H. "Actue toxic effects of Sr⁹⁰ in newborn rats." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. December 1969. U.S Atomic Energy Commision.
- 119.- DELA ROSA, R.J., McKELVIE, D.H., & ROSENBALTTT, L.S. "Metabolism and toxicity of Sr⁹⁰ in the immature beagle." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washinton, U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 120.- TWARDOCK, A.R., DOWNEY, H.F., KIRK, E.S. & AUSTIN, M.K. "Comparartive transafer of calcium and stronium and of potassium and cesium in the guinea pig placenta." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 121.- KOCHER, D.C. "Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electrons." *Health Phys.* 45: No.3; 665-686 (1983)
- 122.- WICHER, F. WARD. "Radionuclide transport processes in territorial ecosystems." *Rad. Res* 94: 135-150 (1983).
- 123.- POLLY G. Martin "Growth response of rats to prenatal irradiation as indicated by changes in DNA, RNA and Protein." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 124.- JACOBSEN, Larry "Radiation induced teratogenesis in relation to season and some features of reproduction biology." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 125.- FINKEL, P. Miriam & Biskis O. Birute " Pathologic consequences of radiostrontium administred to fetal & infant dogs." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commision. (1969)
- 126.- MOSKALEV J.L et al. "Experimental study of radionuclide transfer through the experimental and their biological actionon the fetus." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commision. (1969)

- 127.- IINUMA, T.A et al. "Estimation of internal dose in human fetus and newborn infants due to fallout Cs¹³⁷." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commission. (1969)
- 128.- MATSUSAKA, S., INABA, J., ICHIKAWA, R & OHKUBO, Y.
"Some special features of nuclide metabolism in juvenile mammals."
Radiation biology of the fetal and juvenile mammal. Washington, U.S Atomic Energy Commission. (1969)
- 129.- WALINDER, Gunnar & Sjoden Anne-Marie. "The effect of I¹³¹ on thyroid growth in mouse fetuses." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commission. (1969)
- 130.- ANDERSON, J.J.B., & Crackel, W.C. "Strontium⁸⁵ retention in neonatal swine effect of rearing on the sow versus separation from the sow." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commission. (1969)
- 131.- CASARETT, W. George. "Charman's remarks." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commission. (1969)
- 132.- NILSSON, Agnar & Henricson, Bengt. "The effect of Sr⁹⁰ on the ovaries of the fetal mouse." *Radiation biology of the fetal and juvenile mammal*. Washington, U.S Atomic Energy Commission. (1969)
- 133.- Comisión Norteamericana de energía atómica. Depto. de información técnica. "Plantas de energía nuclear". Serie Entendiendo al átomo. Washington, D.C. (1968)
- 134.- SALMON, Alan. "The nuclear reactor". Ed. Methuen & Co. LTD. 1th. ed. London, England. (1964)
- 135.- ANNALS OF THE ICRP 38. "Radionuclide transformation". Pergamon Press. Oxford, England.