

LIMITE DE
RADIOACTIVIDAD
EN LOS ALIMENTOS.

Los radionuclídeos que se depositaron en el suelo europeo después del accidente de Chernobyl contaminaron también toda la vegetación existente en el local. En esa ocasión, en muchos países europeos, fueron hechas recomendaciones para que no consumiesen las verduras y frutas frescas; y que el ganado fuera recogido a los establos y fuera alimentado con pastos secos. Consta que el ganado irlandés continuó alimentándose normalmente, ocurriendo de esa forma una razonable contaminación en los primeros cargamentos de leche importados por Brasil.

Muchos renos del norte de Escandinavia que se alimentaron de líquenes tuvieron que ser sacrificados en fines de 1986, porque su carne que constituye el principal alimento de los habitantes de Lapónia, estaba contaminada 16 veces superior al límite máximo establecido por la Comunidad Económica Europea. Los renos son la base de la cultura e identidad del pueblo de Láponia, y el estilo de sus vidas, se aprovecha todo de ellas, desde la carne, la leche, los cuernos y huesos. Los lapónes tuvieron que hacer un levantamiento serio de los riesgos y beneficios pues si ellos no sacrificasen los animales, ellos mismos quedarían contaminados, pero en cambio estarían alimentados.

Cuando ocurre la contaminación del medio ambiente por radionuclídeos, su transferencia al ser humano se hace a través de la cadena alimentaria, ilustrada por la Figura 10.1. La absorción de radionuclídeos depositados en el suelo se hace a través de la raíz de la vegetación, es en general un proceso lento que depende del radionuclídeo. El Iodo-131 depositado en el suelo decae significativamente antes de ser transferido al ser humano a través de la cadena suelo-raíz-planta-animal. Entre tanto, el fenómeno de transferencia puede tener un carácter para los radionuclídeos de media-vida física larga, como el Césio-137. El metabolismo de ese elemento en el ser humano es uno de los más estudiados, desde los años 60 por la causa de los testes nucleares. La vía de transferencia más eficaz es a través de la ingestión de la leche, sus derivados y carnes de animales que comieron pasto contaminado con Césio-137.

En Goiania, los mangos de las quintas de casas contaminadas todas ellas fueron contaminadas. Esto ocurrió porque los mangos absorbieron el Césio-137 de una forma muy eficiente, principalmente después de las lluvias, por ser un suelo pobre en Potasio.

Figura 10.1 Transferencia de radionuclídeos a través de la cadena alimentaria.

La actividad del Cesio-137 en la leche del ganado europeo deberá disminuir aproximadamente 10 veces en finales de 1988, y el Cesio-134 en los finales de 1987, ambas con relación a los valores medidos luego del accidente que están listados en la Tabla 10.1. El invierno europeo de 1986, cuando el ganado fue alimentado con pasto contaminado, los niveles de radiación en la leche se incrementaron un poco. La transferencia del Estroncio-90 en la cadena alimentar es de 2 a 4 veces inferior a la del Cesio.

Tabla 10.1 Actividad de radionuclídeos en la leche "in natura" europeo luego del accidente de Chernobyl.

país	localidad	fecha	radionuclídeo	act. Ba/l
Polonia (36)	en general	29/a 30/04	I-131*	30-2.000
		01 a 02/05	I-131	20-1.000
	Varsovia	03/05	I-131	30-600
		05/05	I-131	210
Suecia (35)	Malmo	29/04	I-131	47
	Sundsvall	29/04	I-131	5
	Estocolmo	03/05	I-131	24
	Visby	03/05	I-131	125
Inglaterra (37)	Sul (poca lluvia)	valores	I-131	50
		máximos	Cs-137**	4
	Norte (muchas lluvias)	de	Cs-134	2
		02/05	I-131	400
	hasta	Cs-137	400	
	10/05	Cs-134	200	
Unión Soviética (36)	Moscu	03/05	I-131	35
Iosguelavia (36)		inicio del 05	I-131	50-100
Tcheco-Eslovaquia (36)	Praga en general	08/05	I-131	110
		08/05	I-131	100-500
Hungría (36)		01 a 04/05	I-131	100-2.600
		05 a 09/05	I-131	50-1.200
		11/05	I-131	600
Rumania (36)		04/05	I-131	420

país	localidad	fecha	radionuclideo	act.Bq/l
Suiza (38)	Tessin/ Sudbunden	28/04 a 15/05	I-131	500-1.000
		16/05 a 04/06	I-131	50-100
		05/06 a 20/06	I-131	5-10
		28/04 a 15/05	Cs-137	200-500
	Ostschweiz	16/05 a 04/06	Cs-137	200-500
		05/06 a 20/06	Cs-137	100-200
		28/04 a 15/05	I-131	200-500
		28/04 a 15/05	Cs-137	100-200
Alemania (38)	Baden-Wurtt emberg	28/04 a 15/05	I-131	200-500
		28/04 a 15/05	Cs-137	100-200
	Berlin Occ	28/04 a 15/05	I-131	50-100
		28/04 a 15/05	Cs-137	20-50
	Hessen	28/04 a 15/05	I-131	20-50
		28/04 a 15/05	Cs-137	20-50
	Schleswig- Holtein	28/04 a 15/05	I-131	10-20
		28/04 a 15/05	Cs-137	5-10
Italia (3)	Casaccia	01/05	I-131	63
			Cs-137	5
		08/05	I-131	325
			Cs-137	56
		11/05	I-131	440
			Cs-137	26
		15/05	I-131	130
			Cs-137	118
29/05	I-131	33		
	Cs-137	63		

* I = Iodo.

** Cs = Césio.

Algunos datos sobre la leche importada por el Brasil y contaminados por Cesio-134 y Césio-137, se encuentran en la Tabla 10.2 y 10.3. Esas leches fueron analizadas por el Instituto de Radio Protección y Dosimetría (IRD), órgano dependiente del CNEN, y por el Centro de Energía Nuclear en Agricultura (CENA) de la Universidad de Sao Paulo.

Es también interesante conocer los niveles de contaminación por el Césio-137 en algunos diferentes tipos de carne en Austria (41), en consecuencia del accidente de Chernobyl. Se nota que los niveles dependerán del tipo de ganado, una vez que ellos comieron alimentos con diferentes concentraciones de contaminantes. Las actividades máximas

Tabla 10.2 Concentración de Césio-134, más Césio-137 en la leche en polvo importado por el Brasil luego del accidente de Chernobyl, y analizado por el Instituto de Radioprotección y Dosimetría (39) hasta 16/10/86, correspondiendo a 69 cargamentos.

país de origen	# de muestras analizadas	Cs-134 + Cs-137 (Bq/kg de polvo)		
		máximo	mínimo	média
Irlanda	41	2.413	90	494
Holanda	40	117	4,9	28
Reino Unido	13	177	7,6	44
Dinamarca	9	37	<2,5	23
Francia	8	15	4,1	6
Estados Unidos	6	5,6	<2,0	3,3
Alemania	4	158	<2,3	69
Bélgica	3	10	5,3	8

Tabla 10.3 Radioactividad en la leche comercializado en Brasil, analizado por el Centro de Energía Nuclear en Agricultura.

marca de la leche en polvo	local de fabric.	fecha de fabric.	act. (Bq/kg en polvo)
NIDC	BRASIL	JUNIO/86	2,3
MOLICO	BRASIL	JUNIO/86	0,0
NAMOH	BRASIL	AGOSTO/86	0,0
SANDEN	DINAMARCA	ABRIL/86	1,2
SANDEN	DINAMARCA	MAYO/86	11,0
SANDEN	DINAMARCA	JUNIO/86	72,9
SANDEN	DINAMARCA	JUNIO/86	83,0
GOLDEN	HOLANDA	ENERO/86	0,0
DANC	DINAMARCA	JULIO/86	23,8
DANY-BDY	DINAMARCA	JULIO/86	14,8
KLIN	DINAMARCA	ABRIL/86	0,2
KLIN	DINAMARCA	JULIO/86	97,1

leche rehidratado a 2% de gordura	local	fecha de fabric.	act. (Bq/l)
MILZA	RIBERON PRETO	09/10/86	22,3
FLOC DE LA NATA	BARRETOS	09/10/86	24,6

encontradas en las carnes suínas,bovinas, de venado y ovina fueron respectivamente, 136 Bq/kg en el día 16 de Junio, 240 Bq/kg en el día 7 de Julio, 1.400 Bq/kg en el día 19 de Mayo y 2.500 Bq/kg también el día 19 de Mayo, todos en 1986. Las concentraciones de Césio-137 en las carnes fueron monitoreadas semanalmente. Con el pasar de los meses existió una disminución gradual y el 10 de Noviembre de 1986 los valores encontrados para las carnes suínas, bovinas, de venado, y ovina fueron: 33, 117, 110 y 150 Bq/kg.

El Instituto de Radioprotección y Dosimetría del CNEN había analizado (39) hasta el día 16 de Octubre de 1986, 75 muestras de carne bovina importada. En 10 de ellas encontraron contaminación por el Césio-134 y Césio-137, con valores máximos de 43 Bq/kg, un valor mínimo de 1,7 Bq/kg y un valor medio de 9 Bq/kg.

En el período de 7 al 20 de Julio de 1986, las medidas analizadas en Austria (41) en algunas frutas mostraron varios niveles de contaminación por el Césio-137. El primer valor en el paréntesis es el mínimo, el segundo, el máximo y el tercero, el valor medio en Bq/kg, para algunas frutas: manzana (<6,163,13), cereza (<11,1.110,157), durazno (<11,44,30).

LIMITE DE RADIOACTIVIDAD EN LOS ALIMENTOS.

El límite de radiocontaminación en los alimentos adoptado por el CNEN a partir del 11 de Septiembre de 1986 fue exactamente el mismo adoptado por los miembros de la Comunidad Económica Europea (CEE) para la importación de alimentos. Ese límite fue publicado en el Diario Oficial como Resolución CNEN - 07/86 que dice lo siguiente:

- I. La Comunidad Económica Europea, através del reglamento Numero 1.707/86 del 30 de Mayo de 1986, luego del accidente de Chernobyl, estableció límites para los niveles máximos de radioactividad en los productos a ser importados.
- II. Los valores adoptados por la Comunidad Económica Europea son más restrictos dentro de los ya existentes;
RESERVE:

adoptar los siguientes valores como niveles máximos permitidos para productos importados:

Leche en polvo - 3.700 Bq/kg para Césio-134 más Césio-137.
 Los demás productos - 600 Bq/kg para Césio-134 más Césio-137.

Entretanto, antes de la decisión de la Comunidad Económica Europea, pero luego del accidente de Chernobyl, cada país europeo había establecido un límite para la concentración de radionuclideos en la leche, límites esos que diferenciaban entre sí, llegando a tener en un mismo país valores completamente diferentes dependiendo del Estado, como ocurrió en Alemania (42). Algunos ejemplos son presentados en la Tabla 10.4. Analizando los datos de las Tablas 10.1 y 10.4 queda claro que generalmente, los límites fueron establecidos de forma de no ultrapasar los valores detectados.

Tabla 10.4 Límite de contaminación de la leche, establecido después del accidente de Chernobyl.

país	radionuclideo	límite para la leche(Bq/l)
Polonia	I-131*	1.000 para niños 10.000 para adultos
Suecia	I-131 Cs-137**	2.000 1.000
Inglaterra	I-131	1.000
Alemania		
Bavaria	I-131	500
Berlin	I-131	100
Schleswing-Holstein	I-131	50
Hessen	I-131	20
Stadt Wiesbaden	I-131	7

* I = Iodo.

** Cs = Césio.

Esto pasó porque la norma internacional de protección radiológica ICRP-26 (13), generalmente adoptada por casi todos los países, no propone límites de dosis equivalentes para la población, enfatizando que cualquier exposición a la radiación debe ser evitada.

El límite de contaminación por el Iodo-131 en los alimentos, variable en la República Federal de Alemania, fue restringido a la

importación. Tanto que, en el otoño europeo de 1986 la contaminación de Césio en la carne de carnero y un tipo especial de cogumelos alcanzó valores hasta 3.000 Bq/kg, el consumo para el público fue libre, una vez que eran productos locales (42).

En fin, todos fuimos pegos de sorpresa. Los ingleses, en cambio, ya habían pasado por una situación semejante, cuando el reactor de Windscale se accidentó en 1957. A partir de la tarde del día siguiente del accidente, ellos observaron que la leche de las vacas estaba contaminado con Iodo-131. El Consejo de Investigaciones Médicas inmediatamente estableció el valor de 0,1 Ci (3.700 Bq) para la concentración máxima permitida de Iodo-131 por litro de leche. Es interesante saber como el consejo llegó a esa cifra. Las evidencias médicas indicaban que el cancer de tiroide en niños ocurría muchas después de a la incidencia de radiación con dosis superiores a 2 Sv en la tiroide. De estamenera, el consejo decidió, simplemente, que la salud de los niños estaba segura adoptando el límite de 0,2 Sv. Este mismo valor fue adoptado para toda la población. Considerando que 1 Ci (37.000 Bq) de Iodo-131 por gramo de tiroide libera una dosi de 1,3 Sv, suponiendo que la masa de la tiroide infantil de 5 g y una retención de 45 % del Iodo ingerido, se obtiene a partir del consumo diario de 1 l de leche con activi-

dad 0,15 Ci (5.550 BQ) por litro, produce una dosis de 0,2 Sv. Entre tanto, en esa ocación no sé disponia de datos confiables de masa de tiroide infantil y de la retención de Iodo ingerido. Entonces para mayor seguridad, decidieron bajar la cifra para 0,1 Ci por litro, que por señal, es un valor que se obtiene considerando la masa de la tiroide de 1,5 y una retención de 20 %.

Es interesante observar que el valor actual adoptado por la Comunidad Económica Euoropéa es exáctamente 10 veces inferior al establecido por los ingleses luego del accidente de Windscale.

Como se puede notar, la cuestión de alimentos contaminados con radionuclideos creó una polémica en todo el mundo. Después del accidente de Chernobyl, algunos países como Malásia y el Japón llegaron a debolver alimentos importados del continente europeo que estaban cortaminados. Desde entonces, los organismos internacionales, entre ellos la Agencia Internacional de Energia Atómica (IAEA), la Organización Mundial de la Salud (WHO), la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) y la Comision de las Comunidades Económicas Europeas (CEC), reconocen

llegaron a la necesidad de establecer recomendaciones internacionales específicas y no ambiguas para proteger a la población de situaciones de emergencia radiológica. Con relación a comercialización, distribución, y la utilización de alimentos contaminados con radionuclídeos, la WHO y el FAO están preparando en conjunto una propuesta titulada "Levels for Radionuclides in Food Moving in International Trade". Ellos pretenden presentar esa propuesta en Julio de 1988 al "Codex Alimentarius Commission" que es la comisión que establece padrones internacionales de alimentos.

APLICACIONES DE LAS RADIACIONES EN LA MEDICINA.

Quién acompaño la lectura hasta aquí debe tener la impresión que las radiaciones son los villanos de la ciencia. De ésta manera, devo relatar el otro lado de la medalla, la parte importante de las aplicaciones, para los cuáles los científicos han hecho muchas investigaciones. Aquí están relatadas solamente las aplicaciones más importantes en la Medicina. Entre tanto existen otras aplicaciones tales como la propia utilización de la energía nuclear en países donde las fuentes convencionales de energía no son más dispomibles, esterilización de jeringas, agujas y alimentos para conservacion, inducción de mutaciones para la obtención de nuevas variedades de plantas etc. están descritas detalladamente en libros especializados y en la obra citada (43) en las referencias.

En la medicina, las aplicaciones de la radiación son hechas en campo genericamente denominado Radiología, que incluye la radioterapia, radiología de diagnóstico y la Medicina nuclear.

RADIOTERAPIA.

La radioterapia utiliza la radiación en el tratamiento de tumores, principalmente los malignos, actúa en la destrucción del tumor por la absorción de la energía de la radiación. El principio básico utilizado maximiza el daño en el tumor y minimiza el daño en los tejidos vecinos normales, esto se consigue irradiando el tumor de varias direcciones.

Cuanto más profundo el tumor, más energía debe ser irradiada. Tubos de rayos X convencionales pueden ser utilizados en el tratamiento de cáncer de piel. La denominada bomba de cobalto nada más es que una fuente radioactiva de Cobalto-60, utilizándose para tratar cáncer de órganos más profundos. La fuente de Césio-137, del tipo que causó el accidente de Goiânia, ya fueron bastante utilizadas en la radioterapia, pero están siendo desactivadas pues la energía de la radiación gamma emitida por el Césio-137 es relativamente bajas. La nueva generación de aparatos de radioterapia son los aceleradores lineares. Estos aceleran los electrones hasta una energía de 22 MeV, que al incidir en el alvo, producen rayos X con energía más alta que los rayos gamma del Césio-137 y del Cobalto-60,

y son hoy en día bastante utilizados en la terapia de tumores de órganos más profundos como el pulmón, la vejiga, el útero etc. En la radioterapia, la dosis total absorbida por el tumor varía de 7 a 70 Gy dependiendo del tipo de tumor. Gracias a la radioterapia, muchas personas con cáncer son curadas, hoy en día, o si no lo son, tienen una calidad de vida mejorada durante el tiempo que les resta de vida.

RADIOLOGIA DE DIAGNOSTICO.

La radiología de diagnóstico consiste en la utilización de un haz de rayos X para la obtención de imágenes en el interior del cuerpo en una placa fotográfica, o en una tela fluoroscópica o en una pantalla de TV. El médico, al examinar una placa, puede verificar las estructuras anatómicas del paciente y descubrir la existencia de cualquier anomalía. Esas imágenes pueden ser tanto estáticas cuanto dinámicas, vistas en TV en exámenes, por ejemplo el cateterista para verificar el funcionamiento cardíaco.

En una radiografía convencional, las imágenes de todos los

organos son superpuestos y proyectados en el plano del filme. Las estructuras normales pueden enmascarar o interferir en la imagen de tumores o regiones anormales. Además de eso, la diferencia que existe entre el aire, el tejido blando, y los huesos puede ser hecha facilmente en una placa fotografica, lo mismo no ocurre entre los tejidos normales y anormales que presentan una pequeña diferencia en la absorción de rayos X. Para visualizar algunos organos del cuerpo es necesario inyectar o ingerir lo que se llama contraste, que puede absorber más o menos rayos X que los tejidos vecinos. Los contrastes más comunes son el aire, compuestos de Iodo y Bario. El aire es un pobre absorbedor de rayos X, es utilizado como contraste en pneumoencefalograma y pneumopelvigrafia. Compuestos de Iodo son inyectados en el flujo sanguineo para poder obtener imágenes de las arterias, y los compuestos de Bario son tomados para radiografiar el aparato gastrointestinal, esófago y el estómago. Logicamente que esos contrastes no son y no se tornan ra-

diactivos. La tomografía computadorizada causó gran revolución en el area de la radiología de diagnóstico desde el descubrimiento de los rayos X. Ella fue desarrollada comercialmente a partir de 1972 por la firma inglesa EMI, y hace la reconstrucción tridimensional de imagen por computador, possibilitando visualizar una parte del cuerpo, sin la superposición de órganos. Es como si se hiciera por ejemplo, un corte transversal en una determinada parte del cuerpo en pié y se mirase de arriba. Este sistema produce imágenes detalladas que no son visualizadas en una placa convencional de rayos X. Los detectores de estado sólidos substituyen las placas fotograficas en los tomógrafos, más la radiación utilizada hoy es la de los rayos X.

Los valores de exposición (44) en la entrada de la piel en un paciente "padrón" para diferentes radiografias, por placa, están en la Tabla 11.1. La diferencia entre los valores de exposición es devida a la condición del equipo y técnica utilizada por clínica de la radiología. En muchos casos, la dosis en el paciente puede ser reducida sin perder la información del diagnóstico en el filme. En el caso de una tomografía cerebral, la exposición de entrada en la piel en el plano de la imagen es del orden de 2.00 a 3.000 mR.

MEDICINA NUCLEAR.

La medicina nuclear utiliza radionuclideos y técnicas de la Física nuclear en diagnóstico, tratamiento y el estudio de las enfermedades. La principal

Tabla 11.1 Exposición (mR) en la entrada de la piel, por placa.

organo	exposición (mR)		
	minima	máxima	média.
pulmón	2	283	17
cráneo (lateral)	55	734	263
abdomen	44	6.668	508
columna torácica(antero-post)	119	1.238	606
columna cervical(antero-post)	14	1.600	149
columna lombossral(antero-post)	62	4.985	645

diferencia entre la utilización de rayos X y el de radionuclídeos en el diagnóstico está en el tipo de información obtenida. En el primer caso la información está relacionada con la anatomía, en el segundo caso con el metabolismo y la fisiología. Para el mapeo de la tiroide, por ejemplo, los radionuclídeos más utilizados son los del Iodo-131 y el Iodo-123 en la forma de Iodeto de Sódio, y el tecnecio-99 metastable en el pertecnetato de sodio. Los mapas pueden dar información sobre las tiroides, sea ella hiper, normal o hipofuncionante, además de detectar tumores.

Hoy en día, el tecnecio-99 metastable es unradioisótopo muy utilizado. Su forma química depende de la finalidad. Para estudios dinámicos cardíacos y cerebral, por ejemplo, se utiliza el pertecnetato de sódio: microesferas o macroagregados de albumina humana marcados con tecnecio-99 metastable usado para la obtención de imágenes de los pulmones; y coloides de azufre marcados con tecnecio-99 metastable, para el análisis de la médula osea, hígado y bazo.

Con el desarrollo de los aceleradores nucleares como el ciclotrón, y de reactores nucleares, radionuclídeos artificiales han sido producidos en grandes números para ser utilizados en la marcación de los compuestos para estudios biológicos, bioquímicos y médicos.

Muchos productos del ciclotrón poseen media-vida física corta y son de gran interés biológico, pues llevan una dosis baja al paciente. Entre tanto, la posibilidad de utilizar radionuclídeos de media-vida corta requiere la instalación de un ciclotrón dentro de la dependencia del hospital. En el caso del oxígeno-15, nitrógeno-13, carbono-11 y fluor-18, con media-vida físicas respectivas aproximadas a 2, 10, 20 y 110 minutos. Los radionuclídeos que

emiten positrones son utilizados también en la obtención de imágenes con la técnica de tomografía por la emisión del positrón (PET). Para el estudio del metabolismo de la glucosa, por ejemplo, se incorpora el fluor-18 a esa molécula. Los mapas de las áreas cerebrales son hechos con esa sustancia que se concentra en la región de mayor actividad cerebral. De ésta forma hasta que sea posible delinear regiones cerebrales para cada idioma conocido por el paciente y hasta la zona de ideogramas de las lenguas japonesas y chinesca.

La dosis de radiación debida a un examen de Medicina nuclear, generalmente, no es uniforme en todo el cuerpo, una vez que los radionuclídeos poseen tendencias a concentrarse en ciertos órganos. Es casi imposible medir la dosis en cada órgano de una persona. Entre tanto, los cálculos teóricos hechos para el "hombre referencia" permiten determinar esas dosis. La Tabla 11.2 (45) no muestra la actividad del radionuclídeo administrado a un paciente, las dosis calculadas para el órgano más atingido en un dato tipo de examen, así como las dosis en las gonadas para la estimativa de posibles efectos hereditarios.

Otra aplicación de la Medicina nuclear es la terapia de ciertos tipos de tumores que utiliza justamente, la propiedades que ciertos radionuclídeos que poseen la propiedad de se acumular en determinados tejidos. Es el caso de la utilización del Iodo-131 en la terapia de tumores malignos en la tiroide. Después de la eliminación cirurgica, se hace el mapa de todo el cuerpo para verificar la existencia de metástasis, que son células tumorales dispersas por el cuerpo. En el caso positivo, es administrado el Iodo-131, con actividad mucho mayor que es utilizado para el mapa, ahora con fines terapéuticos.

La principal diferencia entre la radioterapia y la terapia en la Medicina Nuclear se diferencia en el tipo de fuentes radioactivas utilizadas. En el primer caso, se utilizan fuentes selladas en la cuál el material radioactivo no entra en contacto directo con el paciente, o con las personas que manipulan. En el segundo caso, los materiales radioactivos no están selladas, son ingeridos o inyectados a fin de ser incorporados a la región del cuerpo a ser tratada.

Con técnicas cada vez más aperfeccionadas, la radiación aplicada a la Medicina salva muchas y muchas vidas!

Tabla 11.2 Actividad de los radionuclídeos administrado, dosis en los órganos más atingidos, y las gónadas en un examen de Medicina nuclear.

examen (mapa)	radifarmaco	act. radionuclideo administrado (MBq)	dosis organo (mGy)	dosis en las gónadas (mGy)
cerebro	Tc-99m* (perteneclato de sodio)	500	20 (intestino)	4
higado	Tc-99m (coloide de azufre)	150	20 (higado)	0,85
pulmon	Tc-99 (macroagregado de albumina)	100	9 (pulmón)	0,3
hueso	Tc-99 (difosfato)	500	60 (vejiga)	4
riñon	I-131 (acido hipurico)	8	20 (vejiga)	0,2
tiroide	I-131 (iodeto de sodio)	0,3	80 (tiroide)	0,6

* Tc = tecnécio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- (1)- MARSHALL,E .- Juarez: An Unprecedented Radiation Accident. Science, 223:1152-1154, 16/ march/1984.
- (2)- EISENBUD,M .- Environmental Radioactivity. USA, Academic Press,1973.
- (3)- ENEA.- L'Incidente di Ckernobyl, Fatti e Considerzioni- Notiziario dell ENEA/Energia e Innvazione Maggio- Giugno/1986.
- (4)- BRODDSKY,A B (editor)-CRC-Handbook of Radiation Mesaurements and Protection. Section A.USA,CRC Press,vol I:Physical Science and Engineering Data,1978.
- (5)- LINDENFELD,P & UNIVERSITY ,R -Radioactive Radiations and their Biological Effects. USA, American Association of Physics Teachers,1986.
- (6)- NORPIS,W P; SPECKMAN,T.W.& GUSTAFSON, P.F.-Am. J.Roentgenol.Radium Therapy Nucl.Med.,73:802,1955.
- (7)- ICRU- Report 33. Radiation Quantites and Units. Washington DC.,ICRU Publications,1980.
- (8)- ICRU- Report 40. The Quality Factor in Radiation Protection. Maryland,ICRU Publications,1986.

- (9)- BEIR(1972)- The Effect on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Washington D.C:National Academy of Science, National Research Council.1972.
- (10)- RESOLUCION CNEN-6/73.Normas Básicas de Protección Radiológica. Diario Oficial,3132.Brasil. 19/septiembre/1973.
- (11)- PATTERSON, W.H. & THOMAS, R.H.- Accelerator Health Physics. USA,Academic Press.1973.
- (12)- TAYLOR, L.S.- History of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Health Phys.,1:94-104,1958.
- (13)- ICRP- Publication 26. Radiation Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford, Pergamon Press,1977.
- (14)- JOHNS, H.E. & CUNNINGHAM, J.R.- The Physics of Radiology 4.ed. USA. Charles C. Thomas. 1983.
- (15)- ROBERTS,L.-Atomic Bomb Doses Reassessed.Science,238:1649-1651 Dec/1987.
- (16)- ROTBLAT,J.-A Tale of Two Cities.New Sci.,1594: 48-50, 7/Ene/1988.
- (17)- CONNOR,S.-Proteins Reveals Damage from Radiation. New Sci., 1595:41,14/Ene/1988.
- (18)- ABRAMS,H.L.-How Radiations Victims Suffer. Chernobyl, the Emergency Story. Bull. Atom. Sci.,43:13-17. Agos-Sept/1986.
- (19)- GUYTON,A.C.-Tratado de Fisiologia Médica. Sed. Rio de Janeiro Editora Interamericana Ltda,1977.
- (20)- UPTON,A.C.- The Biological Effects of Low Level Ionizing Radiation Sci. Am., 240:29-37, Feb/1982.
- (21)- CURIE,E.- Madame Curie Paris, Gallimard,1938.
- (22)- HANSON,G.P. & KOMAROV,E.- Health Effects in Residents of High Background Radiation Regions. Proceedings of a Symposium.- Biological Effects of Low Level Radiation: 211-230, Vienna, IAEA,1983.
- (23)- HAMMER-JACOBSEN,E.-Therapeutic Abortion on Account of X Ray Examinations During Pregnancy. Dan. Med.Bull.,6:113-122,1959.
- (24)- CASARETT,A.- Radiation Biology.USA, Prentice Hall Inc,1968.
- (25)- BEIR.1980)- The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: 1980.Washington D.C. National

- Academy of Sciences, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, National Academy Press, 1980.
- (26)- ICRP.- Publication 23. Report on Reference Man. Oxford. Pergamon. Press, 1975
- (27)- ICRP.- Publication 30. Limits of Intakes of Radionuclides by Workers. Oxford, Pergamon Press, 1979
- (28)- MA, R.; JIN, Y.; WANG, S. & ZHOU, Y.- Study of Cs-137 Metabolism in Humans. Proceedings of a Symposium- Assessment of Radioactive Contamination in Man 1984: 499-506, Vienna, IAEA, 1985.
- (29)- COHEN, B.L. & SING LEE, I.- Health Physics, 36: 702-706, 1979.
- (30)- CIENCIA HOJE.- Suplemento, 7: 14-17, Marzo/1988.
- (31)- McCALLY, M.- Hospital Number Six: a First-hand Report. Chernobyl, the Emergency Story. Bull. Atom Sci., 43: 10-12, Aug/Sep/1986.
- (32)- GJORUP, H.L.- Countermeasures and Socio-Economic Considerations. Radiat. Prot. Dosim, 21(1/3): 145-150, 1987.
- (33)- DEVELL, L.; TOVEDAL, H.; BERGSTRON, U.; APPELGREN, A; CHYSSLER, J. & ANDERSSON, L.- Initial Observations of Fallout from the Reactor Accident at Chernobyl. Nature, 321: 192-193, 15/May/1986.
- (34)- SAFETY SERIES Number 75.- INSAG-1. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Vienna IAEA, 1986.
- (35)- JENSEN, M. & LINDHE, J.- Activities of the Swedish Authorities Following the Fallout from the Soviet Chernobyl Reactor Accident. Report, Preliminary Edition. National Institute of Radiation Protection. Stockholm, 12/May/1986.
- (36)- WEBB, G.A.M.; SIMMONDS, J.R. & WILKINS, B.T.- Radiation Levels in Eastern Europe. Nature, 321: 821-822, 26/June/1986.
- (37)- FRY, F.A.; CLARKE, R.H. & O'RIORDAN, M.C.- Early Estimates of UK Radiation Doses from the the Chernobyl Reactor. Nature, 321: 193-195, 15/may/1986.
- (38)- Winter, W.- The Radioactivity in the Federal Republic of Germany and in Switzerland after the Chernobyl Reactor Accident- Extended Synopses. Seminar on Radiation Protection and Dosimetry and General Aspects Related to the Chernobyl Accident, Rio de Janeiro. pp. 49-57, 5/11/1986.

- (39)- IRD/CNEN.-Nota de la prensa.
- (40)- FOHLA DE SAO PAULO.-30/10/1986.Reprtagem local.
- (41)- DUFTSCHMID,K.;MUCK,K.;STEGER,F.;VYCHYTIL,P.& ZECHNER,J.-The Exposure of the Austrian Population due to the Chernobyl Accident.Radiat. Prot. Dosim.,19:213-222,1987.
- (42)- DOERFEEL,H.& PIESCH,E.- Radiological Consequences in the Federal Republic of Germany of the Chernobyl Reactor Accident Radiat. Prot.Dosim.,19:223-234,1987.
- (43)- OKUNO,E.;CHOW,C.& CALDAS,I.L.- Fisica para la Ciencias Biologicas y Bioquimicas. Sao Paulo, HARBRA,1982.
- (44)- BUNGE,R.E.-Three Years of NEXT- an Analysis.HEW PUBLICATION (FDA):116-125,1977.
- (45)- CAMERON,J.R.& SKOFRONICK,J.G.- Medical Physics,USA, John Wiley, 1978.