

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
MASTER EN CIENCIAS AMBIENTALES**

RADIOACTIVIDAD Y MEDIO AMBIENTE

**José-Guillermo Sánchez León
Salamanca, junio-1991**

RADIOACTIVIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Autor: José Guillermo Sánchez León
Curso: Master en Ciencias Ambientales
Universidad de Salamanca, 13 de junio de 1991

0 INTRODUCCIÓN

La radiactividad es un fenómeno físico que se conoce desde finales del siglo pasado (Becquerel 1896). Siempre formó parte del medio ambiente natural, incluso es muy probable que haya sido uno de los factores que más han contribuido a la formación de los seres vivos y a su evolución. No obstante, al igual que otras sustancias, cuando en un medio aparece en mayor proporción de la que se considera natural en ese medio¹ podemos hablar de polución o contaminación radiactiva. Aquí surge un primer problema: La radiactividad ambiental fluctúa apreciablemente de unos lugares a otros y, además, depende de los hábitos de las personas (por ejemplo: una persona fumadora suele estar expuesta a una dosis de radiación adicional muy importante). Por otra parte estudios epidemiológicos realizados sobre poblaciones sometidas a una radiación natural muy superior a la media no han detectado efectos sobre los seres vivos. Estos efectos sólo se manifiestan de forma inequívoca con niveles de radiación muy elevados, no obstante elementales medidas de prudencia deben inducirnos a evitar exposiciones injustificadas a las radiaciones.

No obstante lo dicho, los efectos de la radiactividad sobre los seres vivos son probablemente mejor conocidos que el resto de los contaminantes potenciales, sin embargo, el conocimiento que de ello tiene la población en general es escaso. Quizás ello ha contribuido a que todo lo relacionado con radiactividad afecte sensiblemente a la opinión pública. Un especialista en temas ambientales no puede permitirse este lujo, por el contrario, y al igual que con el resto de los potenciales contaminantes, debe ser capaz de afrontar su estudio con el menor número de prejuicios posibles. Deseamos que este tema contribuya a ello.

¹ La radiactividad propia de un medio natural se le conoce con el nombre de "fondo radiológico ambiental"

1 MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS

Es un hecho ampliamente conocido que existen en la naturaleza, y generados artificialmente, un gran número (mas de 2000) de nucleidos inestables (radionucleidos) que a través de procesos de transformación (radiactividad), más o menos largos (dependiendo del radionucleido puede variar de fracciones de segundo a miles de millones de años), se transmutan en otros elementos que a su vez se desintegran en otros -llamados descendientes o hijos- hasta que finalmente se llega a un nucleido estable. En la figura 1 se muestra, como ejemplo, la cadena de desintegración del U-238 que es la serie, de origen natural, más importante. Cada desintegración generalmente implica la emisión de partículas α ó β y radiación γ . En algunos radionucleidos también se producen emisiones de neutrones o protones e incluso otros tipos de emisiones mas extrañas. Estas emisiones tienen suficiente energía como para causar ionización. En el caso de las partículas α el poder de ionización es alto pero el alcance es pequeño (un papel o muy pocos cm de aire es suficiente para detenerlas). Las partículas β ionizan menos que las α pero pueden penetrar mas, alrededor de 1 metro en el aire. Las emisiones γ son ondas electromagnéticas, como la luz visible pero de longitud de onda menor, que cubren un amplio espectro de energías poseen gran poder de penetración (varios metros en el aire). Los rayos X son similares a las emisiones γ pero de energía mas baja.

Estas radiaciones ionizantes pueden alcanzar a los seres vivos y ser absorbida por éstos. La energía absorbida puede afectar a los procesos biológicos que, dependiendo de numerosos factores, pueden ir desde causar efectos claramente perniciosos (malformaciones genéticas y algunos tipos de cánceres) a efectos positivos en algunos casos (la contribución de la radiactividad a la Evolución ha sido importante), pasando por la ausencia de efectos significativos.

La unidad con la que se mide la radiactividad o actividad es el Bequerelio (Bq)² que equivale a una transformación nuclear por segundo. La unidad con la que se mide la energía absorbida

² También se emplea el Curio (Ci), 1 Ci= $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

por unidad de masa de tejido ó dosis absorbida es el Gray³ (Gy) que equivale a 1 julio por kilogramo. El efecto biológico potencial o dosis equivalente se mide en Sievert⁴ (Sv) que equivale a 1 julio por kilogramo ponderado por el riesgo biológico potencial, por ejemplo la radiación alfa a igualdad de energía depositada que la radiación gamma causa un riesgo biológico unas 20 veces mayor.

La radiación no causa el mismo efecto en todas las partes del cuerpo sino que unos órganos son mas radiosensibles que otros, por ejemplo una determinada dosis recibida sobre las manos posee un riesgo menor que la misma dosis recibida sobre los órganos reproductores. Para tener en cuenta este hecho, las diferentes partes del cuerpo tienen un factor de ponderación distinto que multiplicado por la dosis equivalente origina la dosis equivalente efectiva que también se mide en Sieverts. Cuando se utiliza el término "dosis" sin ningún añadido, generalmente se refiere a dosis equivalente efectiva.

Hasta ahora hemos tratado las dosis individuales. Si sumamos las dosis individuales recibidas por un grupo de personas tenemos la dosis equivalente efectiva colectiva o dosis colectiva que se expresa en Sv-persona. De todas las unidades anteriores se utilizan los múltiplos y submúltiplos habituales especialmente el milisievert y el microsievert ($1\text{mSv}=10^{-3}\text{ Sv}$ y $1\mu\text{Sv}=10^{-6}\text{ Sv}$)

Las radiaciones en la mayoría de los radionucleidos decae lentamente pudiendo permanecer en el medio mucho tiempo, por ejemplo: restos de radionucleidos procedentes de explosiones nucleares en la atmósfera efectuadas en la década de los cincuenta aún persisten en ésta causando una dosis a la población actual. Para tener en cuenta este hecho se utiliza la dosis equivalente efectiva colectiva o dosis comprometida que es la dosis colectiva que afectará a la población mientras persistan los efectos del radionucleido en el medio ambiente (notese que esta definición tiene en cuenta las generaciones presentes y futuras).

³ También se emplea el rad , $100\text{ rad} = 1\text{ Gy}$

⁴ También se utiliza el rem , $100\text{ rem} = 1\text{ Sv}$

2 FUENTES DE RADIACIÓN

En este apartado se describen las principales fuentes de radiación a las que estamos expuestos los seres humanos. Los valores que aquí se dan están obtenidos del último informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR-88) que es considerada la fuente más solvente sobre el tema.

2.1 Fuentes naturales de radiación

Desde que el Hombre existe sobre La Tierra ha estado expuesto a las radiaciones ionizantes. Estas radiaciones llegan a los seres vivos por distintos caminos: desde el exterior (p.ej rayos cósmicos, irradiación γ y β procedentes de radionucleidos existentes en la atmósfera y en la superficie terrestre) y desde el interior del propio cuerpo al penetrar en éste radionucleidos, al inhalar e ingerir sustancias radiactivas y por la propia presencia de éstas entre los componentes de la materia orgánica.

En la tabla 1 se muestra la dosis media que recibimos los seres humanos procedentes de la radiación natural. Se observa que el valor medio es 2,4 mSv, éste varía substancialmente de unos lugares a otros e incluso en un mismo lugar depende de las costumbres de cada individuo.

Tabla 1 Dosis media anual, en mSv, por persona procedente de fuentes naturales

FUENTES DE IRRADIACION	Externa	Interna	Total
Rayos Cósmicos			
Ionización directa	0,30	-	0,30
Neutrones	0,055	-	0,055
Radionucleidos cosmogénicos	-	0,015	0,015
Radionucleidos primordiales			
Potasio-40	0,15	0,18	0,33
Rubidio-87	-	0,006	0,006
Serie del U-238	0,1	1,24	1,34
Serie del Th-232	0,16	0,18	0,34
TOTAL	0,8	1,6	2,4

Como ya hemos indicado la fuente de radiación de origen natural mas importante es el U-238 y sus descendientes (ver fig 1) que estan ampliamente distribuidos por la naturaleza. De todos los isótopos que forman la serie los de mas interés son el Ra-226, Po-210, Pb-210 y el Th-230 en aguas y alimentos, y el Rn-222, que es gas, en la atmósfera. Este gas está siendo muy estudiado por su importante contribución a la dosis, especialmente en el interior en recintos poco ventilados. Tambien existe en la naturaleza otra serie: la del Th-232. Además en los minerales aparece en cantidades apreciables K-40 y Ru-87.

La Tierra tambien se ve sometida a otra fuente de radiación: La radiación cósmica, responsable de la formación de otro isótopo radiactivo, el C-14, y de la radiación directa de origen cosmico que varia apreciablemente con la altura (por ejemplo: la radiación, de este origen, es el triple a 2000 m que a nivel del mar).

La radiación natural terrestre externa varia substancialmente de unos lugares a otros. Se estima que el 95% de la población vive en areas cuya dosis media oscila entre 0,3 y 0,5 mSv y que un 3% vive en areas con dosis superiores a 1 mSv

La radiación interna de origen terretre tambien varia aprecia-

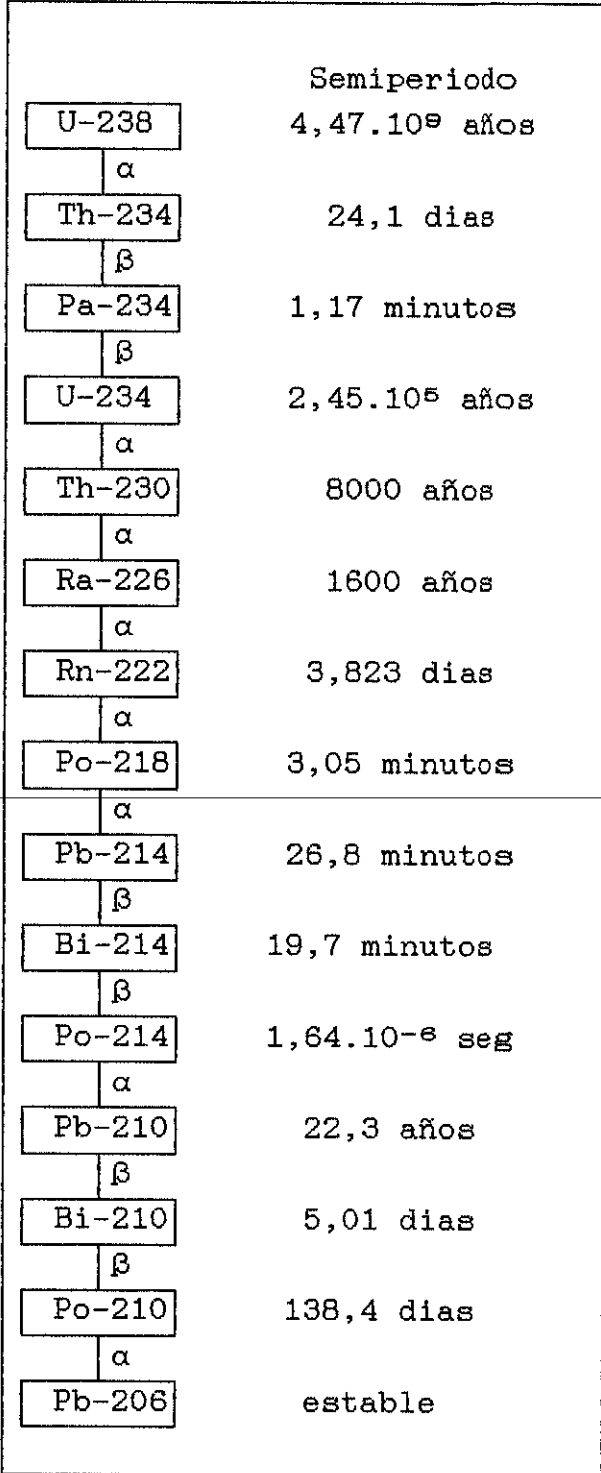


Figura 1

blemente de una personas a otras, dependiendo fundamentalmente de los hábitos alimenticios (consumo de productos con un alto contenido en K-40 y en descendientes de la serie del U-238; principalmente el Po-210 y el Pb-210) y del tabaquismo. Aunque la fuente mas importante de radiación natural es el Radón, estrechamente relacionado con los materiales utilizados en la construcción de los edificios y con su ventilación.

2.2 Fuentes artificiales.

El hombre en el siglo presente ha "aprendido" a crear radisótopos y a construir aparatos generadores de radiación ionizante, como son los equipos de rayos X, sincrotones, etc . El uso de esta fuentes de radiación es muy variado: radioterapia, radioinmunoensayos (RIA), exploraciones médicas, generación de energía eléctrica, detectores de incendio, inspección de soldaduras, y hasta como armas de destrucción masiva.

Todo ello ha contribuído a aumentar la radiactividad existente en la Naturaleza, aunque globalmente este aumento de dosis de la población mundial no ha sido muy elevada (ver tabla 2). No cabe duda de que la forma en que la radiactividad, y más concretamente la energía nuclear, se dió a conocer al gran público (las explosiones nucleares sobre Hiroshima y Nagasaki) han dado a este tema de una fuerte dosis emocional que dificulta un análisis estrictamente técnico y científico⁵. El accidente de Chernobyl es el único ocurrido en la industria nuclear civil con un impacto radiológico importante sobre la población. Un estudio recientemente publicado por el Organismo Internacional de Energia Atómica, dependiente de las Naciones Unidas, indica que las consecuencias de este accidente han sido 35 muertos, unas 200 personas altamente irradiadas sin que se haya observado un aumento detectable del indice de cánceres y de malformaciones genéticas en el area. De hecho el informe dice que en éste area se han producido 6000 muertes en los últimos 5 años, valor que coincide con la mortandad habi-

⁵ Como ejemplo de lo anterior: poca gente recuerda que en la misma época del accidente de Chernobyl tuvo lugar en la industria química (Bhopal) un accidente con consecuencias muy superiores

tual de la zona estudiada^e. Su valoración definitiva no podrá hacerse hasta dentro de unas decenas de años.

2.3 Misceláneo de las dosis estimadas para todas las fuentes de radiación.

En la tabla 2 se resumen las dosis estimadas para las fuentes de radiación mas importantes. Se observa que la mayoría de las radiaciones que recibimos las personas son de procedencia natural seguida de las exposiciones médicas y, muy de lejos, por otras fuentes. Llama la atención la contribución insignificante de la producción eléctrica de origen nuclear a la dosis pero está ampliamente admitido entre los especialistas que estas instalaciones, en condiciones normales de operación, son menos contaminantes que otras fuentes de producción de energía eléctrica basadas en combustibles fósiles.

Tabla 2 Dosis recibidas por la población mundial considerando las fuentes de exposición mas importantes

FUENTE	Dosis anuales por persona en mSv		Dosis comprometida	
	Por persona	Rango típico	Sv-10 ^e persona	Años de fondo
ANUAL			Por año practica	
Radiación natural	2,4	1-5	11	1
Exposiciones médicas	0,4-1	0,1-10	2-5	0,2-0,5
Exposición ocupacional	0,002	0,5-5	0,01	0,001
Producción de energía nuclear	0,0002	0,001-0,1	0,001 (0,03)*	0,0001 (0,004)
INDIVIDUAL			En total	
Restos de explosiones nucleares	0.01	0,01	5 (26)*	0,5 (2,4)*
Accidentes nucleares			0,6**	

* Dosis comprometidas a largo plazo debidas al Rn y al C-14 procedente de la producción de energía nuclear y al C-14 procedente de los ensayos con bombas nucleares

** Esta dosis es casi enteramente atribuible al accidente de Chernobil. Se recibirá especialmente en Europa Sudoriental donde se registrará en los próximos 30 años una dosis superior al 1,7% de la natural.

^e Este estudio ha sido, naturalmente, cuestionado por los grupos antinucleares y, a veces manipulado como cuando se ha dicho en algunos medios de comunicación que en el area de Chernobyl han muerto 6.000 persona en 5 años omitiendo que son las típicas de la zona.

3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN SOBRE LAS PERSONAS

En este apartado vamos a describir cuales son los efectos biológicos en función de la dosis recibida. Aunque el conocimiento que de ello se tiene es insuficiente, especialmente para las bajas dosis de radiación, es muy superior al que se tiene de los efectos de otros mecanismos de contaminación; por ejemplo: todo el mundo sabe que el SO₂, NO_x y el tabaco son muy nocivo, sin embargo aún no existe una unidad, equivalente al Sv, que permita cuantificar su efecto biológico en función de los cigarrillos fumados, lo mismo puede decirse para cualquier sustancia que tenga efectos nocivos.

3.1 Mecanismo físico-químicos de actuación

En el cuadro I se describe esquemáticamente el proceso de actuación de las radiaciones desde que penetran en los tejidos hasta que causan efectos biológicos en los mismos.

CUADRO I

Efectos de las radiaciones sobre los tejidos.

Ionización: Partículas cargadas interaccionan con los electrones de los átomos, algunos de los electrones son desprendidos y los átomos quedan ionizados.

Transformaciones físico-químicas: Los átomos ionizados y los electrones libres son muy inestables; se crean nuevas moléculas, particularmente reactivas por contener radicales libres. Estos radicales libres interactúan entre ellos pudiendo originar cambios moleculares que afecten al comportamiento biológico de las células.

Efectos biológicos: Algunos de los cambios biológicos pueden tener consecuencias importantes sobre el comportamiento celular y después de una serie de transformaciones, que duran de segundos a años, manifestarse en forma de cáncer o efectos genéticos. Es obvio que no todas las transformaciones tienen consecuencias fatales, en la mayoría de los casos los organismos consiguen, a través de mecanismos de reparación molecular y celular, evitar que estas transformaciones celulares prosperen.

3.2 Efectos estocásticos y no estocásticos

Las radiaciones ionizantes pueden causar efectos nocivos sobre los seres vivos. Cuando las dosis son altas—por encima de 500 mSv, es decir 200 veces superior a la media de la radiactividad de origen natural— estos efectos son seguros, que no letales, o como en radiobiología se dice sus efectos son, no estocásticos y aparecen en horas o en pocos días. Las situaciones en que los seres humanos se han visto expuestos a estas dosis, si exceptuamos las bombas sobre Hiroshima y Nagasaki y los tratamientos médicos, han sido escasos; en el propio accidente de Chernobyl solo unas decenas de personas excedieron estas dosis. A estos niveles de dosis los efectos inmediatos pueden predecirse con exactitud (ver Cuadro II), si bien no todos los seres humanos tenemos comportamientos biológicos idénticos frente a la radiaciones. Cuando se dan cuadros, como el Cuadro II, de causa-efecto, generalmente, se refieren a relaciones validas para el 50% de la población.

CUADRO II
Efectos agudos por altas dosis.

DOSIS(Sv)	EFEECTO
100	Fallecimiento por lesiones en el sistema nervioso central en horas o pocos días
10-50	Muerte por lesiones gastrointestinales en una o dos semanas
3-5	50% de fallecimientos por lesiones en la médula osea entre uno y dos meses
0,5-1	Alta probabilidad de supervivencia. Si afecta al cristalino produce opacidad.
0,1	Esterilidad temporal, si esta dosis afecta a los testículos.

En los casos en los que los niveles de dosis son bajas, generalmente por debajo de 500 mSv, los efectos de las radiaciones no es seguro que se produzcan sino que tienen cierta probabilidad de aparecer, se trata de efectos estocásticos o probabilísticos. Estos efectos cuando aparecen tardan años e incluso, cuando se trata de efectos genéticos, pueden transcurrir

varias generaciones hasta que se manifiestan, aunque lo mas probable es que sólo afecten a una escasa proporción de la población. En definitiva, cuando una persona recibe una pequeña dosis de radiación es muy improbable que este condenada, ni su descendencia, a sufrir un efecto nocivo.

UNSCEAR ha realizado una valoración de estos riesgos que se muestran en el Cuadro III. Estos valores, en opinión del propio UNSCEAR, están elaborados con criterios muy conservadores y lo mas probable es que los efectos para bajas dosis estén sobreestimados, no obstante una revaluación de los efectos causados por las bombas de Hiroshima y Nagasaki realizada recientemente por el Comité Americano para Investigar el Efecto de las Radiaciones (Informe BEIR V) ha llegado a la conclusión de que en el caso de exposiciones agudas los efectos cancerigenos y genéticos se prolongan en el tiempo mas de lo que hasta ahora se creía, en cuyo caso para altas dosis el Cuadro III subestime algunos riesgos, si bien se sigue manteniendo la opinión general es que para bajas dosis, que son a las que incluso los individuos que trabajan con radiaciones están expuestos, los valores del Cuadro III sobreestiman el riesgo. La interpretación de este cuadro es clara, por ejemplo: El riesgo de cancer de tiroides es 5×10^{-4} por Sv, es decir si 2.000 personas $-1/5 \times 10^{-4}-$ reciben cada una 1 Sv probablemente una de ellas sufrirá un cancer de tiroides.

CUADRO III

Riesgos estimados en función de la dosis recibidas

Tejido u órgano	Riesgo Sv ⁻¹	Efecto esperado	Riesgo relativo
Gónadas	$4,0 \times 10^{-3}$	Malformaciones genéticas en 2 generaciones	0,25
Pecho	$2,5 \times 10^{-3}$	Cáncer	0,15
Médula	$2,0 \times 10^{-3}$	Leucemia	0,12
Pulmón	$2,0 \times 10^{-3}$	Cáncer	0,12
Tiroides	$5,0 \times 10^{-4}$	Cáncer	0,03
Superficie osea	$5,0 \times 10^{-4}$	Osteosoma	0,03
Resto	$5,0 \times 10^{-4}$	Cáncer	0,3
TOTAL	$1,7 \times 10^{-2}$	Algunos individuos	1

Otro de los criterios que se aplican en radiobiología es considerar que la relación riesgo-efecto, como la del Cuadro III, es lineal, es decir que a doble dosis doble probabilidad de que se produzca un efecto determinado. Una consecuencia de esta interpretación es que el efecto es el mismo si se recibe una determinada dosis en un tiempo muy breve o en un período largo, esto es una interpretación muy conservadora. La opinión general es que la relación entre la dosis y la probabilidad de que se produzca un determinado efecto es lineal-cuadrática siendo mas probable que se produzca un efecto si la dosis se recibe en un instante que si se hace de forma fraccionada en un período largo, diversas experiencias de laboratorio en animales y plantas así lo corroboran. No obstante, no existen datos precisos para establecer los coeficientes de la relación lineal-cuadrática así que por ahora la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y el UNSCEAR han decidido mantener la interpretación lineal, a sabiendas de que lo mas probable es que para muy bajas dosis se estén sobreestimando sus efectos. Naturalmente no todo el mundo esta de acuerdo con esta interpretación y hay quien sostiene opiniones contrarias e incluso quien defiende que muy bajas dosis pueden tener efectos positivos (se ha llegado a celebrar un congreso donde se presentaron varios estudios epidemiológicos para analizar esta última hipótesis).

4 LÍMITES DE DOSIS

Las legislaciones de los diferentes países establecen límites a las practicas que impliquen el uso de radiaciones ionizantes. Estos límites se suelen basar en las directrices de la CIPR y, en el caso de emisiones al medio ambiente, en el caso de España se suelen aplicar límites basados en la Agencia Americana del Medio Ambiente (EPA) y en la Comisión Reguladora Nuclear (CFR). La CEE esta emitiendo directrices que tienden a homogeneizar las normas europeas relativas al uso de las radiaciones ionizantes.

En España se aplican los límites del Reglamento de Protección Sanitaria Contra las Radiaciones Ionizantes (RPSCRI) que establece una dosis máxima de: 50 mSv al año para el personal

profesionalmente expuesto, 5 mSv al año para el público en general (en breve, se limitará esta dosis a 10 mSv en 5 años) y 1 mSv para las mujeres embarazadas durante el período de gestación. Es importante aclarar que estos límites deben aplicarse conjuntamente con el criterio ALARA (tan bajo como razonablemente sea posible) que básicamente consiste en reducir la exposición a las radiaciones a las mínimas cantidades que un estudio riesgo-beneficio justifique. Aunque existe una metodología que permitiría aplicar este criterio de manera rigurosa, no suele hacerse pues para ello se requiere la cuantificación de algunos parámetros tales como el coste económico de 1 Sv. En su defecto a las emisiones de sustancias radiactivas se suele aplicar límites específicos mucho mas rigurosos de los que la legislación establece con carácter general. Por ejemplo: el límite de dosis máximo admisible establecido por la legislación española, en el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones ionizantes ,para el público en general es 5 mSv, mientras que el límite de dosis que se admite para las instalaciones nucleares es 0,25 mSv/año al individuo mas expuesto (que equivale al 10% de la dosis de origen natural), que en la practica suele ser muy inferior a esta cifra.

5 LÍMITES DE CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD EN AGUA Y ALIMENTOS

5.1 Límites aplicables a aguas de bebida.

Los límites aplicables a las aguas de bebida en España están recogidos en la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de aguas potables de consumo público (B.O.E. nº 226, del 20-9-90) y desarrollados en la Guía de Seguridad nº 7.7 "Control Radiológico del agua de bebida" (CSN-1990). Estos límites son los mismos que se aplican en la C.E.E. y coinciden con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S).

De acuerdo con lo indicado en la Guía citada en la caracterización de un abastecimiento de agua potable se adoptaran tres niveles de referencia:

- a) Nivel de investigación.- Corresponde a la situación en que la ingestión continuada de agua de bebida (a efectos de calculo se utiliza para el adulto una tasa de ingestión de 730 l/año) pudiera dar lugar a una dosis igual o superior a 0,05 mSv/año, pero inferior a 0,5 mSv/año, debiéndose proceder a la investigación de los radisótopos presentes en el agua.
- b) Nivel de notificación.- Corresponde a la situación en que la ingestión continuada de agua de bebida pudiera dar lugar a una dosis igual o superior a 0,5 mSv/año, pero inferior a 1 mSv/año, situación que debe ponerse en conocimiento de la autoridad competente.
- c) Nivel de actuación.- Corresponde a la situación en que la ingestión continuada de agua pudiera dar lugar a una dosis igual o superior a 1 mSv/año, debiendo la autoridad competente tomar medidas teniendo en cuenta que:
- i) ~~En las actuaciones a tomar habrá que considerar~~ parámetros sociales y económicos.
 - ii) En principio, dicha agua sólo podría consumirse durante un plazo de tiempo inferior a un año y, en general, no superior a seis meses, a no ser que medidas posteriores de las concentraciones de actividad tuvieran valores decrecientes que supusieran un valor medio anual de dosis equivalente efectiva comprometida inferior al establecido para el nivel de actuación.

Los nucleidos que la O.M.S. considera de interés controlar en el momento de caracterizar un abastecimiento de agua potable, a los que en principio hay que aplicar los límites anteriores, son los siguientes:

-Radionucleidos naturales.-Ra-226, Ra-228, Pb-210, Po-210, U-234, U-238, Th-230 y Th-232.

-Radionucleidos Artificiales.- H-3, Sr-89, Sr-90, Co-58, Co-60, I-129, I-131, Pu-239, Am-241, Cs-124 y Cs-137.

La caracterización se realizará una sola vez y posteriormente

cuando haya razones fundadas de variación en los valores de referencia. Estos valores de referencia y su diagrama de actuación se incluye como Apéndice I. Para facilitar su interpretación se hacen los siguientes comentarios:

a) Diagrama para emisores alfa:

Si la concentración de actividad alfa-total (α_T) es inferior a 0,1 Bq/l no es necesaria ninguna acción posterior. En otro caso se seguirán la secuencia de actuaciones indicadas en el diagrama.

b) Diagrama para emisores beta y beta-gamma:

Si la actividad beta total (β_T) es menor de 1 Bq/l, no se precisa ninguna acción posterior. Si es mayor a este valor debe restársele la contribución debida al K-40 -en este caso suele llamársele beta-resto (β_R). Si la actividad β_R es superior a 1 Bq/l, se hará una espectrometría gamma y una determinación de los isótopos del estroncio.

c) Presencia simultanea de radinuclidos alfa y beta-gamma:

En estos casos se aplicará la ecuación siguiente:

$$\sum \frac{C_i}{L_i} = K$$

siendo:

C_i la concentración de actividad calculada correspondiente al radinucleido i

L_i el valor de referencia asignado en el diagrama correspondiente a la fase de no actuación del radinucleido i .

Si K menor de 1 => fase de no actuación

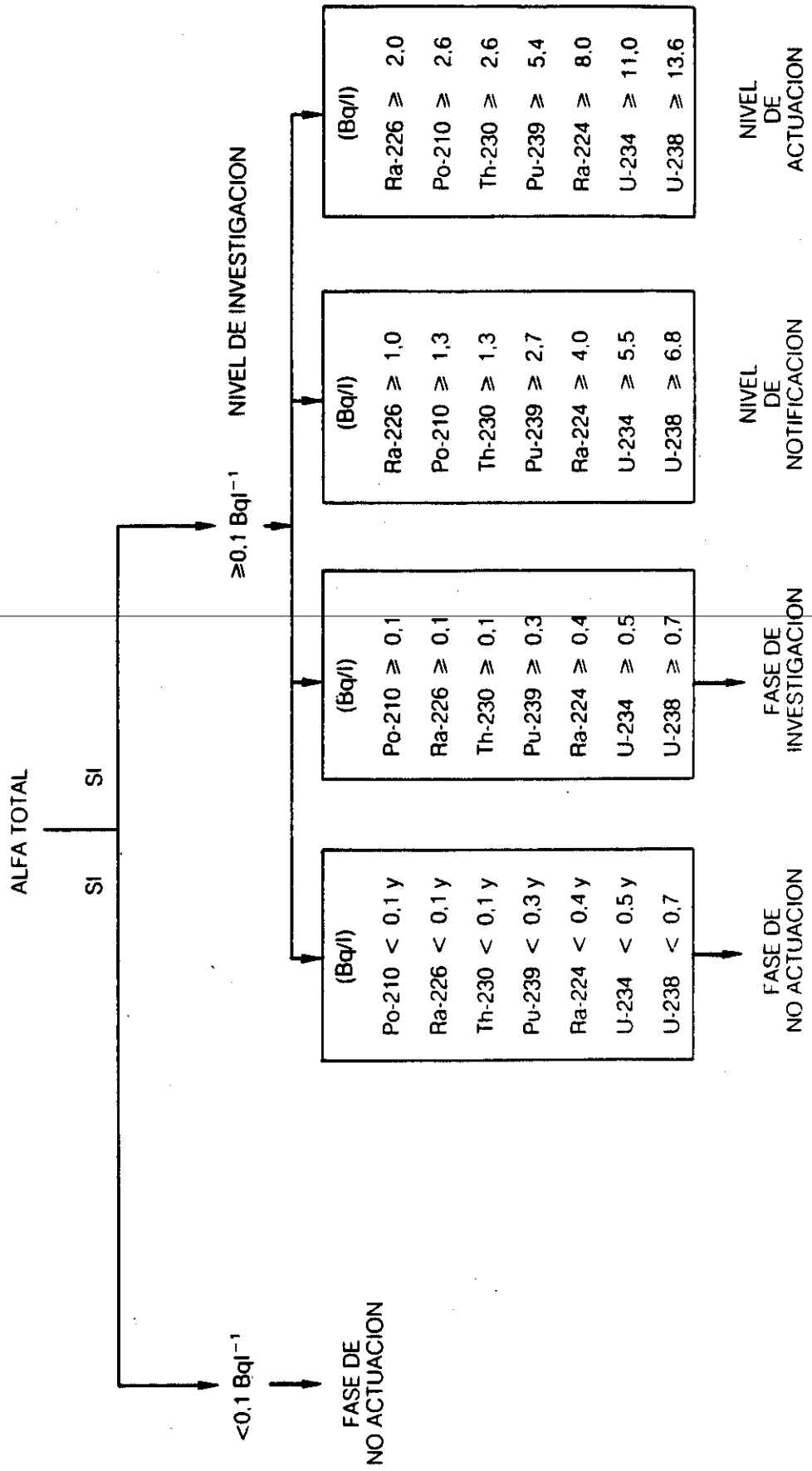
Si K mayor o igual que 1 y menor de 10 => fase de investigación

Si K mayor o igual que 10 y menor de 20 => nivel de notificación

Si K mayor de 20 => nivel de actuación

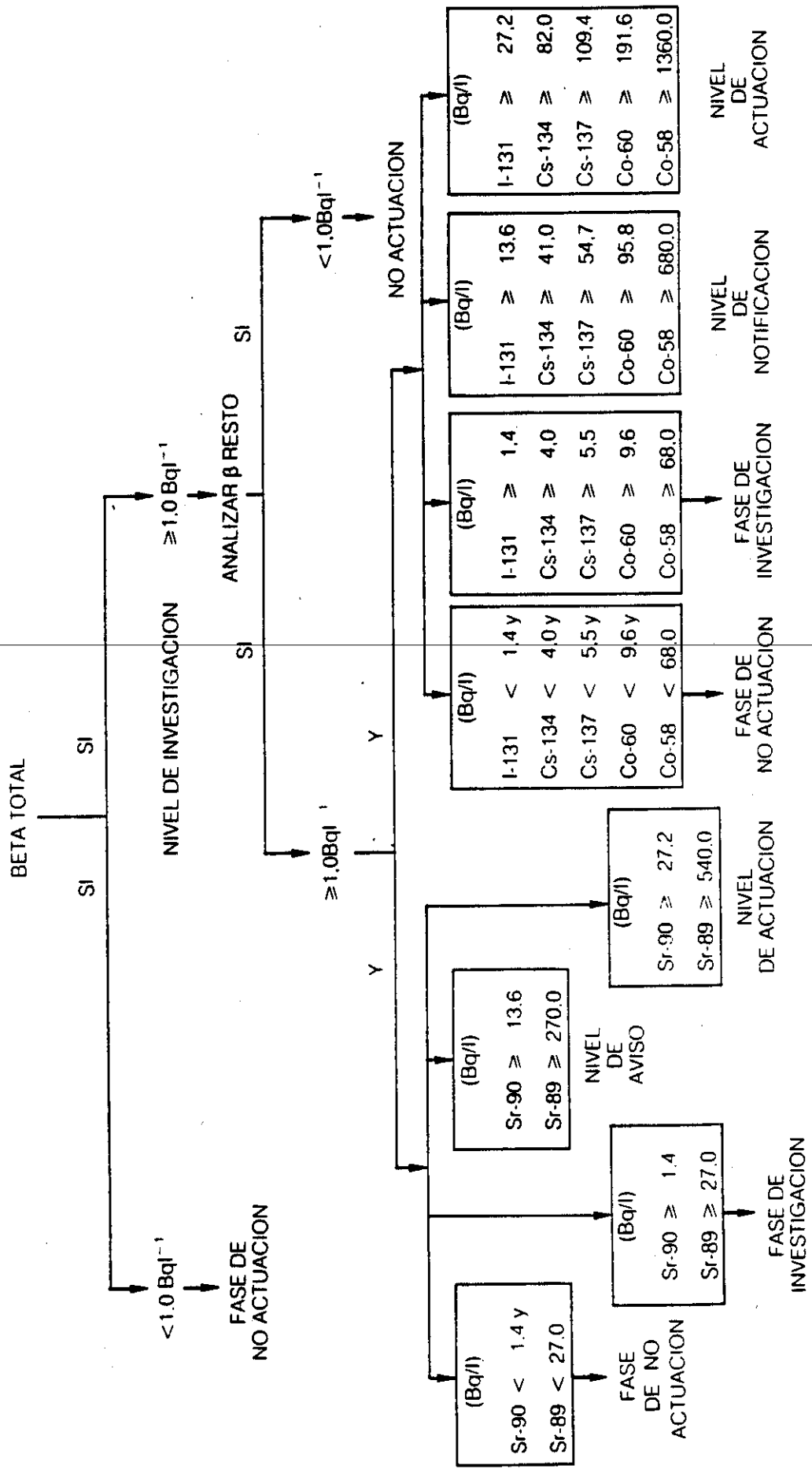
APENDICE I

DIAGRAMA DE ACTUACION PARA EMISORES ALFA



APENDICE I

DIAGRAMA DE ACTUACION PARA EMISORES BETA Y BETA-GAMMA



Pueden presentarse las situaciones particulares siguientes, no incluidas en el Apéndice I, debiéndose proceder según se indica en cada caso:

- a) Dada su especial radiotoxicidad se establecen como niveles particulares de investigación los siguientes:

Th-232: 0,04 Bq/l
Pb-210: 0,027 Bq/l
Am-241: 0,06 Bq/l
Ra-228: 0,12 Bq/l
I-129: 0,27 Bq/l

Si se exceden los valores anteriores la autoridad competente determinará la actuación a seguir.

- b) ~~Para el caso específico del tritio (H-3) el nivel de investigación es 40 Bq/l~~
- c) En el caso de radionucleidos no indicados anteriormente se calcularán las concentraciones necesarias para obtener los límites de dosis correspondientes. Es decir, a partir de los valores de dosis especificados al definir los distintos niveles se determinarán las concentraciones de actividad necesarias para alcanzar dichos niveles.

5.2 Límites aplicables a alimentos

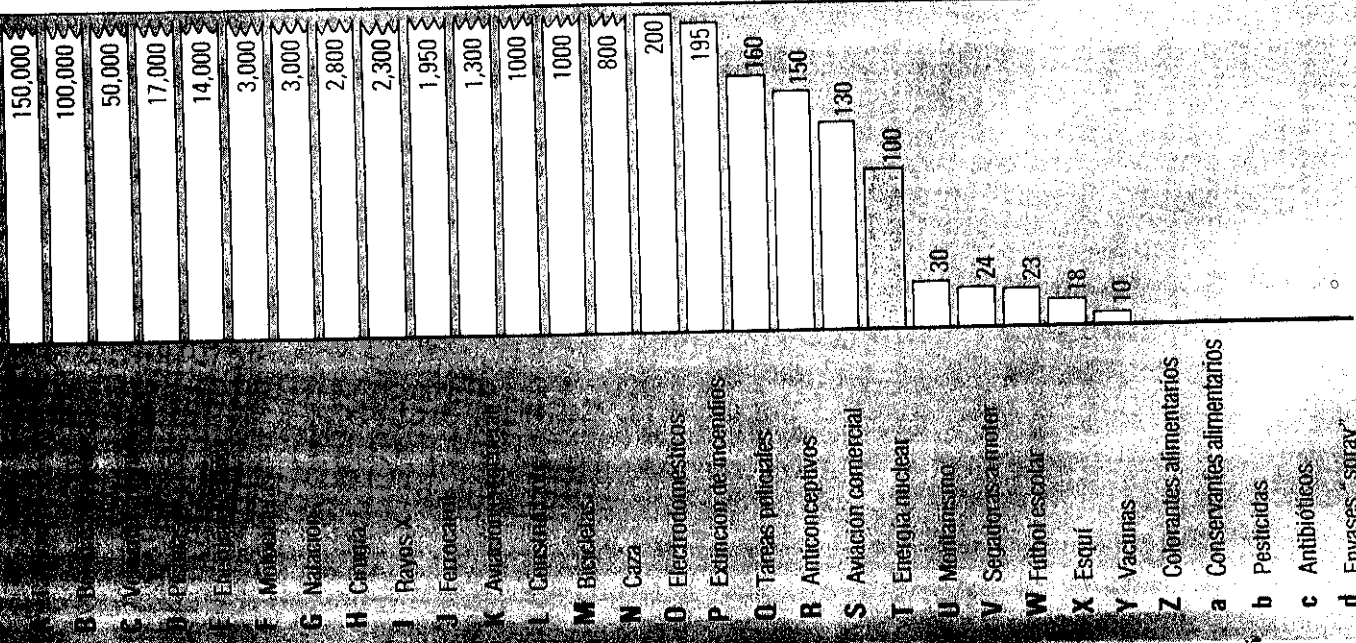
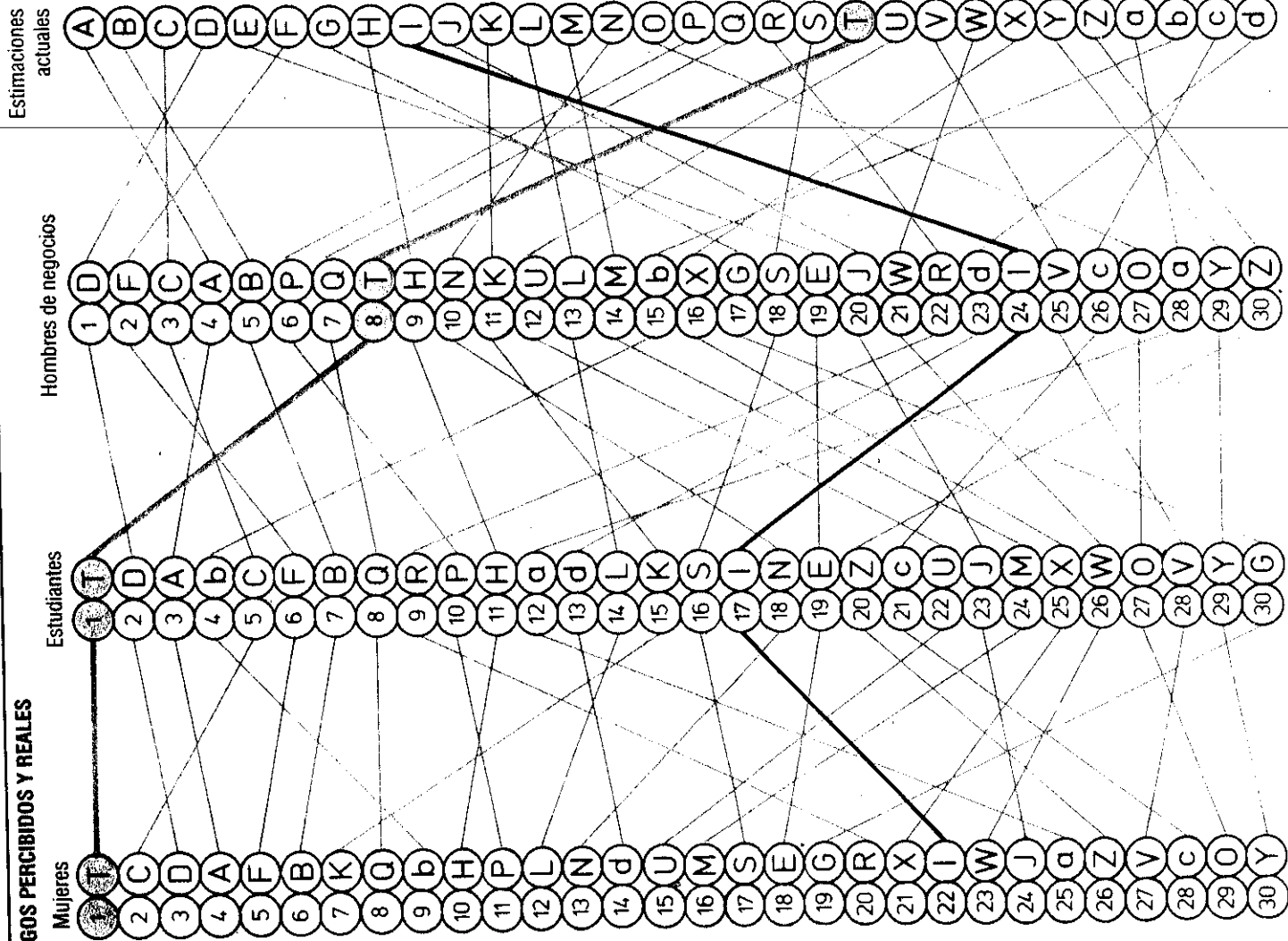
El Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (R.P.S.C.R.I) se establecen los valores límites de ingestión para los distintos tipos de isótopos. No existen unos criterios de actuación tan precisos como para aguas de bebida. El control sobre los alimentos habitualmente se realiza aplicando los denominados Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental entorno a las Instalaciones Nucleares, consisten en aplicar un programa sistemático de recogida de muestras (alimentos de consumo humano y animal, suelos, sedimentos, aguas superficiales, subterráneas, etc) y analizar su composición isotópica para ver si se mantienen concentraciones sufi-

cientemente bajas (Realmente las concentraciones máximas exigidas a estas instalaciones son muy inferiores a los límites de ingestión del R.P.S.C.R.I)

7 ACEPTABILIDAD DE LOS RIESGOS

Las radiaciones, especialmente en lo relativo a las Instalaciones Nucleares, despierta en la mayoría de la población una inquietud muy superior a otras fuentes potenciales de contaminación. Este riesgo existe, pero debe ser valorado con objetividad en comparación con otros riesgos. En este sentido adjuntamos el Cuadro 6.1 (Riesgos percibidos y reales) obtenido de un manual del Comité Científico sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas, organismo dependiente de las Naciones Unidas, cuyo título es: "Radiación. Dosis, Efectos, Riesgos". El cuadro se refiere a una encuesta realizada a tres grupos de población norteamericano (mujeres de la Liga de Votantes Femeninos, estudiantes universitarios, y miembros de clubs de profesionales y ejecutivos) a los que se le pidió valorarán 30 riesgos y los resultados se compararán con los valores estimados reales por los expertos. Llama la atención la disparidad existente entre los valores estimados reales y los percibidos: por ejemplo, la energía nuclear aparece mucho peor valorada que el tabaco, la energía eléctrica no nuclear, o el uso de los rayos X, cuando de acuerdo con los datos reales, en EEUU, la mortalidad causada por la energía nuclear al año es 15.000 veces menor que el tabaco, 140 veces menor que la energía eléctrica no nuclear, y 230 veces menor que el uso de los rayos X. Con esto no pretendemos llevar a la conclusión de que, al causar la energía nuclear menos mortalidad que otras formas de producción de energía y que otras actividades perfectamente aceptadas por la sociedad no deba de ejercerse ningún control sobre ella. De hecho el escaso impacto ambiental producido por la energía nuclear es debido en gran medida a la fuerte sensibilidad social a este tipo de actividad. Simplemente pretendemos que cuando sea necesario hacer la valoración del impacto ambiental de cualquier tipo de instalaciones, nuclear o no nuclear, se haga utilizando datos lo mas objetivos posibles.

6.1 RIESGOS PERCIBIDOS Y REALES



7 CONCLUSIONES Y OPINIONES

La radiactividad forma parte del ambiente natural en que nos movemos desde el principio de los tiempos. El Hombre durante este siglo se ha convertido en un productor de radiaciones ionizantes, sin embargo la contribución de estas, por ahora, supone sólo una pequeña parte de la radiación natural, si exceptuamos la debida al uso de rayos X en medicina.

La radiación natural, que físicamente causa los mismos efectos que la artificial, varía considerablemente de unos lugares a otros y de los hábitos de los individuos.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son mejor conocidos que otras fuentes potencialmente productoras de polución, pero aún persisten incertidumbres, especialmente sobre los efectos de las bajas dosis, aunque la mayoría de los especialistas creen que están sobreestimados. No obstante, razones de prudencia hacen conveniente evitar la exposición a las radiaciones, al igual que con el resto de las sustancias potencialmente contaminantes, excepto a aquellos casos justificados, es decir que el beneficio esperado sea superior al riesgo asumido.

El accidente de Chernobyl causó un fuerte impacto emocional en la población, muy superior al producido por accidentes de otro tipo que tuvieron peores consecuencias.

El público, especialmente los medios de información, debe estar mas implicado en el análisis de los riesgos que se le pide que asuma y procurar ser objetivo en su valoración. Con este propósito, los Organismos competentes, deben suministrar una información completa, lo mas objetiva posible.

Los especialistas, mas que nadie, deben tener criterios los mas amplios posibles, procurando eliminar muchas certezas preestablecidas que le han supuesto una perdida de credibilidad. Esta afirmación es aplicable a los especialistas que a veces en una creencia desmedida en la técnica han sostenido posturas sosteniendo que determinados tipos de accidentes son extremadamente improbables, cuando, al menos, en un caso no ha sido así. También es válida para las organizaciones ecologistas, muchas de las cuales han fomentado y fomentan un antinu-

clearismo visceral, proponiendo a veces soluciones, hoy inviables o alternativas más contaminantes que los riesgos que dicen pretender evitar (Un caso extremo de temor injustificado lo constituye el desmedido rechazo social al almacenamiento de pararrayos radiactivos).

Como tantas tecnologías humanas, el peligro mayor de la energía nuclear proviene de su uso bélico. Frecuentemente se olvida que en la Tierra existen unas 50.000 cabezas nucleares, muchas de ellas en submarinos y aviones que recorren todo el Planeta. Ese es el autentico problema. Que una tecnología sea peligrosa cuando se utiliza para la guerra no debe llevarnos a eliminar lo que de positivo pueda tener. Previsiblemente el uso pacifico de la energía nuclear consiga algun día, tal vez a mediados del siglo XXI, resolver de forma definitiva el problema energético de la Humanidad por medio de la fusión nuclear. Pero, aún en este caso, no estaremos ante una tecnología absolutamente limpia, por la sencilla razón de que ninguna forma de generación de energía -ni la solar- es completamente inocua, el segundo principio de la termodinámica lo prohíbe. El progreso se construye sobre la mejora de lo existente, una mejora que cada vez debe tener más en cuenta al medio ambiente.

9 BIBLIOGRAFÍA

-INFORME DEL COMITE CIENTÍFICO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS RADIACIONES ATÓMICAS. FUENTES Y EFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE (UNSCEAR-88). Nueva York: Naciones Unidas;1988 .

-RADIACIÓN. Dosis, Efectos, Riesgos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Consejo de Seguridad Nuclear.Madrid;1987 .

-Informes semestrales del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso y al Senado. *Se trata de unos informes se publican semestralmente y contienen los datos mas importantes, de cada semestre, de las instalaciones nucleares y radiactivas existentes en España.* Consejo de Seguridad Nuclear .

- RADIATION and RADIACTIVITY: On Earth and Beyond por Draconic y Adloff. CRC Press; 1990.