

TEMA 8
CRITERIOS GENERALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
Miguel Alcaraz Baños

Objetivos generales

1. Describir los objetivos de la Protección Radiológica.
2. Explicar el Sistema de Limitación de Dosis.
3. Explicar en qué consiste la justificación.
4. Explicar en qué consiste la optimización.
5. Definir el concepto de Detrimento.
6. Describir algún ejemplo de la relación coste-beneficio aplicado a la protección radiológica.
7. Exponer el concepto ALARA.
8. Definir el término "personal profesionalmente expuesto".
9. Enumerar los límites básicos recomendados por la CIPR, y los establecidos en la legislación nacional para el personal profesionalmente expuesto y para los miembros del público.
10. Conocer los límites de dosis para el personal femenino.
11. Conocer los límites de dosis para los menores de 18 años.
12. Enumerar las situaciones que se excluyen de la limitación de dosis.
13. Distinguir entre exposición accidental y de emergencia.
14. Establecer la clasificación del personal profesionalmente expuesto en función del riesgo.

TEMA 8

CRITERIOS GENERALES SOBRE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Miguel Alcaraz Baños

La utilización de los rayos X y de la radiactividad pusieron de manifiesto, desde los primeros momentos, la capacidad lesiva de estos agentes físicos. La Protección Radiológica surge ante la necesidad de proteger a los individuos de los efectos nocivos e indeseables de las radiaciones ionizantes. La concepción de la protección radiológica quedó establecida en el Sistema de Limitación de Dosis, cuyas recomendaciones no vinculantes expresadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (publicación nº26, 1977) se han ido traduciendo en formulaciones legales en la mayor parte de los países.

El objetivo fundamental de la Protección Radiológica es la protección de los individuos, de sus descendientes y de la humanidad en su conjunto de los riesgos derivados de aquellas actividades que debido a los equipos, materiales y técnicas que se utilizan, puedan implicar exposiciones a radiación ionizante.

Así, teniendo en cuenta los diferentes tipos de efectos biológicos y de sus características, los objetivos fundamentales (Fig.8.1) de la protección radiológica son:

1. Prevenir la ocurrencia de los efectos Deterministas (No estocásticos ó No Probabilísticos). Puesto que para su aparición es preciso superar una dosis umbral, dichos efectos no aparecerán si las personas no llegan a recibir dosis superiores a las consideradas umbrales. Se podrían, por tanto, eliminar por completo limitando la dosis de radiación.

2. Limitar la probabilidad de incidencia de los efectos No Deterministas (Estocásticos ó Probabilísticos) hasta unos límites que se puedan considerar aceptables por una determinada sociedad. Como su aparición no presenta un umbral de dosis que permita una protección completa, este objetivo se consigue manteniendo las exposiciones tan pequeñas como razonablemente sea posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales de una población (*criterio ALARA*), y estableciendo siempre unos límites de dosis que no se deben sobrepasar.

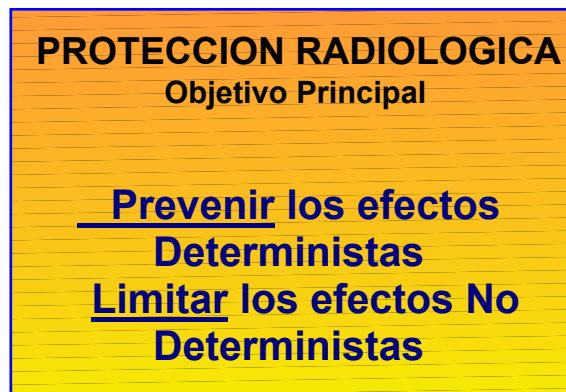


Fig.8.1. Objetivos de la Protección Radiológica

En general, para conseguir estos objetivos bastaría con atenerse estrictamente a tres principios básicos:

1.- No debe adoptarse ninguna práctica con radiaciones que no conlleve un beneficio neto positivo para el individuo o la especie humana como conjunto.

2.- Todas las exposiciones a la radiación deben mantenerse tan bajas como sea, razonablemente posible conseguir, teniendo en cuenta factores económicos y sociales (**As Low As Reasonably Achievable: ALARA**).

3.- La dosis equivalente (que tiene en cuenta el efecto biológico) a los individuos no debe exceder los límites establecidos para cada circunstancia.

La filosofía de acción establecida por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), en 1976 está basada en los tres objetivos nombrados; incide en que las actividades realizadas con radiaciones ionizantes han de estar de acuerdo con los criterios básicos siguientes (Fig.8.2):

1. JUSTIFICACIÓN de la actividad a realizar con radiaciones ionizantes.
2. OPTIMIZACIÓN de todas las exposiciones a radiación ionizante.
3. LIMITACIÓN de las dosis individuales recibidas en dichas actividades.



Fig.8.2. Parámetros Fundamentales de la Protección Radiológica

8.1. JUSTIFICACIÓN

Justificar una actividad que implique un riesgo de irradiación supone un análisis coste-beneficio de dicha actividad. Se considerará justificada cuando, en una balanza teórica, los beneficios obtenidos con el desarrollo de esa actividad superen los costes derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (Fig.8.3).

El análisis coste-beneficio de una actividad económica obedecería a la expresión matemática:

$$B = V - (P + X + Y)$$

donde: B = Beneficio neto de la actividad estudiada.
V = Beneficio Bruto para la sociedad de dicha actividad.
P = Coste de producción (incluye riesgos no radiológicos).
X = Coste de la Protección Radiológica.
Y = Coste para la sociedad del Detrimento Radiológico de la salud.

Se entiende por Detrimento (Fi.8.4) la expresión matemática del daño que se produce, y se determina teniendo en cuenta la gravedad de un efecto y la probabilidad de que éste ocurra. El concepto de detrimento para la salud expresa el daño total en el hombre, debido a los efectos biológicos que pueden aparecer después de una exposición a las radiaciones ionizantes, en condiciones bien definidas de la exposición y a un nivel de dosis determinado; aunque éste concepto puede aplicarse tanto a los efectos deterministas como a los no deterministas, se utiliza principalmente para estimar el daño debido a los efectos no deterministas.

Sin embargo, esta sencilla ecuación no es fácil de evaluar. Tanto el beneficio bruto para la sociedad (V) como el Coste para la sociedad del Detrimento radiológico (Y) no son sencillos de

cuantificar en términos económicos. Además, los grupos de personas sobre los que recae el beneficio son generalmente diferentes de aquellos sobre los que recaen los costes.

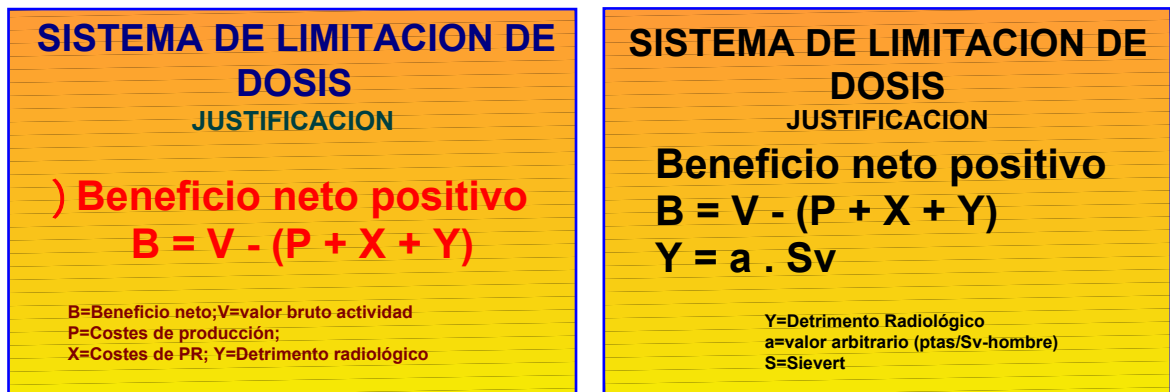


Fig.8.3.Justificación del empleo de radiaciones ionizantes.

La cuantificación del coste dependerá en gran medida del valor cuantitativo otorgado al Detrimento radiológico de la salud en una exposición a radiaciones ionizantes, por ello, se intenta valorar con una expresión del siguiente tipo:

$$Y = \alpha \cdot Sc$$

donde: Sc = la dosis efectiva colectiva.

α = el valor monetario que tiene la unidad de dosis efectiva colectiva. Es el coste con que cada sociedad valora el riesgo asociado a la recepción de un Sv-persona. El valor de la vida de una persona variará de una sociedad a otra. La O.I.E.A, para la relaciones internacionales lo fija en 3.000 dólares. Para algunos países llegaría hasta los 20.000 dólares, lo que implicaría que la vida del hombre estaría valorada en unos 400.000 dólares, en el mejor de los casos (Fig.8.5).

En conclusión, la comparación monetaria en pesetas del conjunto de beneficios menos el de los costes pondrá de manifiesto si la actividad es justificable o no. Evidentemente, en un intento de solventar las imprecisiones del modo en que se realiza este balance, sólo se considerarán justificadas aquellas actividades cuyo beneficio neto sea positivo y en grado suficiente respecto de su comparación con los costes.

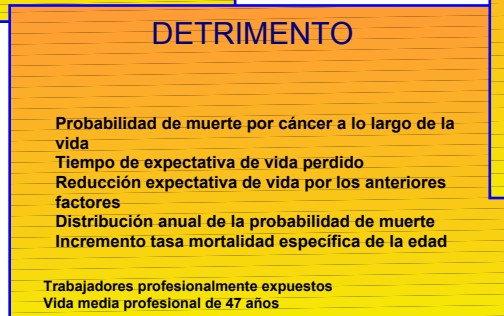
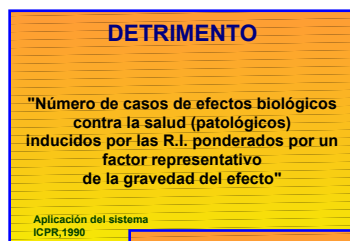


Fig.8.4. Detrimento radiológico.

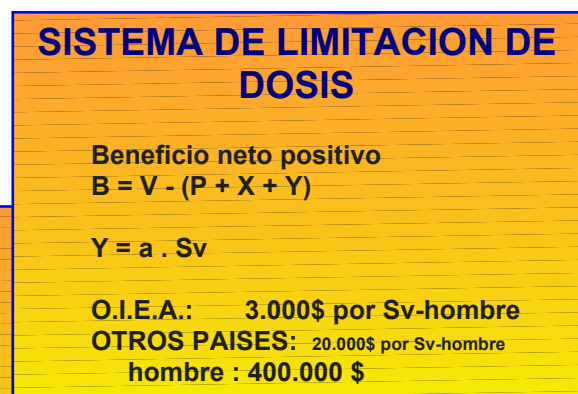


Fig.8.5.Justificación económica del uso de R.I.

Sin embargo, en el Radiodiagnóstico esta justificación es más fácilmente asumible. Dado que las dosis de radiación son pequeñas, su justificación está en la obtención, a través de la imagen radiológica, de la información precisa que implica o condiciona una determinada actuación terapéutica.

8.2. OPTIMIZACIÓN

La forma recomendada por la ICPR para optimizar una actividad que implique un riesgo radiológico consiste en la demostración de un máximo beneficio en ese análisis coste-beneficio. Para ello es preciso alcanzar el máximo beneficio con la menor cantidad de radiación en cada una de las exposiciones radiológicas.

Se recomienda el criterio ALARA como finalidad última de la optimización. Este criterio describe que la optimización consistiría, genéricamente, en alcanzar el beneficio de una actividad manteniendo las dosis de exposición tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores tanto económicos como sociales. Dicho concepto se crea al tomar las iniciales de su modismo inglés (As Low As Reasonably Achievable). Así, el valor ALARA corresponde al nivel de dosis efectiva colectiva por debajo de la cual, el coste de cualquier medida adicional de protección radiológica sería mayor que el valor de la reducción del detrimento de la salud que con ella se conseguiría. Esta relación quedaría expuesta de una forma gráfica en la figura 8.6.

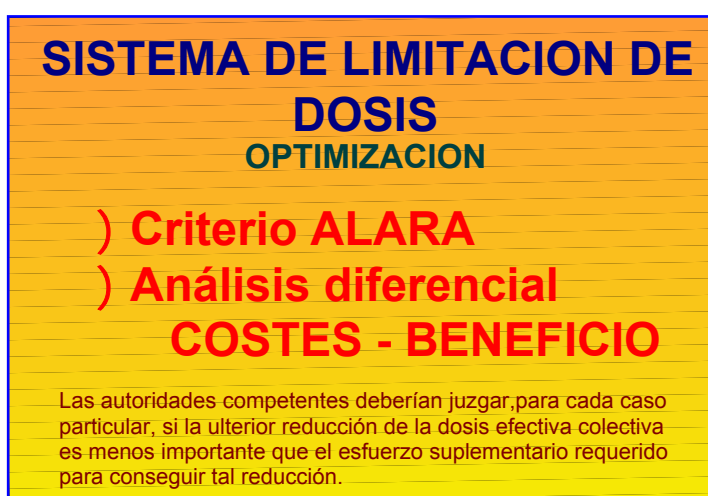


Fig.8.6. Optimización en Protección radiológica.

Ejemplos de aplicación de esta concepción de protección radiológica podrían ser los siguientes:

1. No se justifican exploraciones masivas de carácter preventivo sin determinar previamente que los beneficios que se van a obtener superan al de la probabilidad o riesgo de lesiones inducidas por la radiación ionizante. Por ello, han pasado a la historia las revisiones radiológicas escolares indiscriminadas (fotoseriación) y las de determinados estudios en el Servicio militar obligatorio (radiografía de tórax). Sin embargo, se instauran otras diferentes, como las campañas de detección precoz de cáncer de mama en mujeres asintomáticas, de una edad previamente seleccionada.
2. No se debe utilizar la escopia sin intensificador de imagen, porque, además de estar prácticamente prohibida en nuestro medio desde septiembre de 1990, implica una dosis elevada al paciente ya que requiere un elevado miliamperaje.
3. Los médicos generales deberían solicitar exploraciones radiológicas cuando, no existiendo otros métodos diagnósticos menos agresivos, justificasen la información que se pueda obtener para la aplicación de un tratamiento específico.
4. Deberían corregirse deficiencias estructurales y organizativas -con un sistema adecuado de almacenamiento, duplicado y comunicación de las pruebas realizadas-, para evitar las repeticiones de estudios radiológicos ya realizados en otros centros, ciudades o instituciones.

5. Mantener en buenas condiciones toda la cadena de obtención de la imagen, de forma que se consiga una calidad constante y adecuada con la menor dosis posible, evitando repeticiones, exposiciones accidentales, etcétera. Para ello se considera necesario un programa de Garantía de Calidad en cada uno de los Servicios de Radiodiagnóstico.

8.3. LIMITACIÓN DE LAS DOSIS INDIVIDUALES.

La Limitación de dosis es un requisito establecido para asegurar una protección radiológica adecuada. Representa los valores máximos de radiación que no deben ser sobrepasados nunca.

La aplicación del sistema de Limitación de dosis individual esta recogida en la Legislación Española, en el Reglamento de Protección Radiológica contra radiaciones ionizantes (1992), en donde se establece una clasificación de los diferentes grupos de población expuestos a radiación ionizante, y que supone, en definitiva, la incorporación de las directrices comunitarias en materia de protección radiológica.

8.3.1. Clasificación del personal

A efectos del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra radiaciones ionizantes, las personas se clasifican en:

- Personal Profesionalmente Expuesto (TPE).
- Miembros del Público.
- Población en su conjunto.

a) Personal Profesionalmente Expuesto (TPE):

Se consideran personas profesionalmente expuestas aquellas que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, están sometidas a riesgo de exposición a radiaciones ionizantes que supongan dosis anuales superiores a la décima parte de los límites de dosis anuales fijados para los trabajadores. Los estudiantes y aprendices de menos de 18 años que durante el período de estudio, se encuentren expuestos de forma habitual a radiaciones ionizantes, se consideran incluidos en esta categoría.

Por razones de vigilancia y control radiológico a los TPE se les clasificarán en dos categorías:

- **Categoría A:** Aquellas personas que por las condiciones en que realizan su trabajo pueden recibir una dosis efectiva superior a **6 mSv por año oficial**; o una dosis equivalente superior a los 3/10 de los límites anuales de dosis equivalente establecidas para el cristalino, la piel o las extremidades.
- **Categoría B:** Aquellas personas que por las condiciones en que realizan su trabajo es **improbable** que puedan recibir una dosis efectiva superior a **6 mSv** por año oficial; o una dosis equivalente superior a los 3/10 de los límites anuales de dosis equivalente establecidas para el cristalino, la piel o las extremidades.

b) Miembros del Público:

Son las personas de la población consideradas individualmente que no están catalogadas como profesionalmente expuestas.

Se considera miembros del público a:

- Los usuarios de las instituciones sanitarias, en tanto no sean objeto de exploraciones o tratamientos radiológicos en calidad de pacientes.
- Los trabajadores profesionalmente expuestos, FUERA de su horario de trabajo habitual.

- Cualquier otro individuo de la población.

c) *Población en su conjunto.*

Se define como población en su conjunto al colectivo formado por las personas profesionalmente expuestas y por los miembros del público, es decir, toda la población en un momento dado.

Para los distintos grupos de población que se acaba de nombrar se establecen unos límites de dosis específicos, en los que no se tienen en cuenta la radiación derivada del fondo radiactivo natural, ni la radiación recibida como paciente en estudios radiológicos de diagnóstico o de tratamiento. En este último caso, la exposición a la radiación se encuentra únicamente sujeta a los criterios de justificación y optimización.

Para fijar este Límite individual de dosis, se estudiaron las 100 industrias consideradas más seguras, y se estableció así la probabilidad de muerte en cada una de ellas como consecuencia directa del trabajo realizado. En 1976, se consideró aceptable para la industria nuclear un riesgo equivalente al de aquellas industrias o trabajos que poseen el más elevado índice de seguridad. Dado que en estos trabajos "seguros" el promedio de muerte anual era de 1 persona cada 10.000 trabajadores/año, se estableció que esta debería de ser la probabilidad de muerte, por efectos no deterministas, en la población en general; aceptándose un nivel diez veces superior para los profesionalmente expuestos (Fig.8.7a y 8.7b).

A partir de estos factores, se llegó a la conclusión de que una media de exposición, en una determinada actividad por los profesionales expuestos, implicaría que 5 mSv de dosis efectiva supondría un riesgo de 1 muerte /10.000 trabajadores por cáncer radioinducido/ año. Sin embargo, la experiencia puso de manifiesto, homogeneizando las características de la exposición, que 50 mSv/año es una dosis que implicaría un riesgo similar, en los trabajadores profesionalmente, y permite conseguir un índice de seguridad similar al de las industrias más seguras.

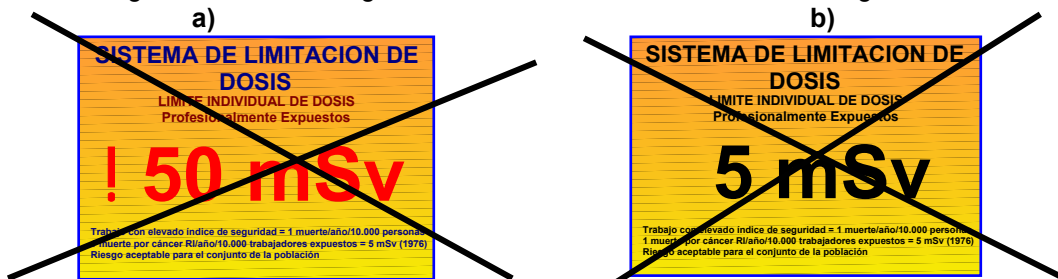


Fig.8.7. Antiguos límites individuales de dosis.

Sin embargo estos límites han sido modificados recientemente durante el año 2001 de tal forma que, sin alcanzar las recomendaciones de la ICPR que recomendaba que se redujeran hasta el 10 por ciento de los valores antes descritos, han establecido unos nuevos límites de dosis que suponen una reducción considerable.

Los actuales límites de dosis están reflejados en la siguiente tabla I:

LIMITES DE DOSIS INDIVIDUALES.		
TRABAJADORES		
Irradiación homogénea		100 mSv en 5 años con límite de 50 mSv/año
Irradiación parcial	Dosis efectiva	50 mSv/año
	Cristalino	150 mSv/año
	Piel, manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año
PUBLICO		
Irradiación homogénea		1 mSv/año
Irradiación parcial	Dosis efectiva	1 mSv/año
	Cristalino	15 mSv/año
	Piel	50 mSv/año
ESTUDIANTES		
Mayores de 18 años	Límites de los trabajadores expuestos	
De 16 a 18 años	Dosis efectiva	6 mSv/año
	Cristalino	50 mSv/año
	Piel, manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año

Tabla I: Límites Individuales de dosis máximas permitidas

El Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes actualmente en vigor, el cual se abordará con detalle en tema aparte, establece los siguientes límites:

A) Trabajadores expuestos.

- Límite de 100 mSv para el período de 5 años oficiales consecutivos sin sobrepasar el límite de 50 mSv por año oficial.
- Cristalino 150 mSv por año oficial.
- Piel 500 mSv por año oficial.
- Manos, antebrazos, pies y tobillos 500 mSv por año oficial.

B) Mujeres embarazadas.

Desde que notifica el estado al titular de la práctica, la protección al feto deberá ser comparada con los miembros del público. Las condiciones de trabajo garantizarán que, desde que se comunica el embarazo hasta que nazca el niño, la dosis recibida no será superior a 1 mSv.

Durante la lactancia no se asignarán trabajos que implican riesgo de contaminación radiactiva.

C) Límites de dosis para personas en formación y estudiantes.

- Para mayores de 18 años tendrán los mismos límites que los trabajadores expuestos.
- Entre 16 y 18 años, el límite será de 6 mSv por año oficial teniendo en cuenta :
 - Cristalino 50 mSv por año oficial.
 - Piel 150 mSv por año oficial.
- Manos, antebrazos, pies y tobillo 150 mSv por año oficial.

D) Exposición especialmente autorizada.

Es la ocasionada en situaciones excepcionales pero no son previsibles en instalaciones de diagnóstico médico.

E) Límites de dosis para miembros del público.

- El límite es de 1 mSv por año oficial. El Consejo de Seguridad Nuclear podrá autorizar valores superiores siempre y cuando el promedio de 5 años oficiales no sobrepase el valor de 1 mSv por año oficial.
- Cristalino 15 mSv por año oficial.
- Piel 50 mSv por año oficial.

8.3.2. Límites anuales de dosis para las Trabajadores profesionalmente expuestas (TPE).

Los límites anuales de dosis, o Dosis máximas permisibles (Fig.8.9), son aquellos que permiten eliminar los efectos deterministas y mantener los efectos no deterministas dentro de unos valores asumibles por la sociedad.

Así, se establecen los siguientes límites:

a) Límite anual para el caso de exposición total y homogénea del organismo.

El límite anual de dosis efectiva para los TPE es de 100 mSv durante un período de 5 años oficiales consecutivos, y sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

b) Límites anuales para el caso de exposición parcial del organismo.

En el caso de exposición total no homogénea o parcial del organismo son:

- El límite anual de dosis efectiva es de 500 mSv por año oficial.
- El límite anual de dosis efectiva para el cristalino es de 150 mSv por año oficial.
- El límite anual de dosis efectiva para la piel es de 500 mSv por año oficial.
- El límite anual de dosis para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 500 mSv por año oficial.

-El límite anual de dosis para cualquier otro órgano o tejido, considerado individualmente, es de 500 mSv por año oficial. Se ha establecido, a partir de los estudios sobre las dosis umbrales, que 500 mSv es el límite anual máximo, por debajo del cual se impide la generación de este tipo de efectos en la mayoría de los órganos, *excepto* en el *Cristalino* que mantiene un límite de dosis anual equivalente de 150 mSv para los profesionalmente expuestos.

PROTECCION RADIOLOGICA DOSIS MAXIMA PERMISIBLES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS		
Totalidad del organismo	Tejidos u órganos aislados	Cristalino
100 mSv/5 años	500 mSv	150 mSv
(B.O.E. 20/7/2001)		

Fig.8.9. Límites individuales de dosis en el . profesionalmente expuestos.

PROTECCION RADIOLOGICA DOSIS MAXIMA PERMISIBLES PUBLICO EN GENERAL		
Totalidad del organismo	Tejidos u órganos aislados	Cristalino
1 mSv	50 mSv	15 mSv
(B.O.E. 20/7/2000)		

Fig.8.10. Límites individuales de dosis en el . Público en general

8.3.3. Límite de dosis anual para los miembros del público

a) Límite anual para el caso de *exposición total homogénea* del organismo (Fig.8.10):

El límite anual de dosis efectiva para la totalidad del organismo es de 1 mSv por año oficial. Sin embargo, el Consejo de Seguridad Nuclear, en condiciones especiales, podrá autorizar un valor de dosis efectiva más elevada en un único año oficial, siempre que el promedio durante 5 años oficiales consecutivos no sobrepase 1 mSv/año.

b) Límites anuales para el caso de *exposición total no homogénea o parcial* del organismo.

- El límite anual de dosis efectiva es de 1 mSv por año oficial.
- El límite anual de dosis para el cristalino es de 15 mSv/año oficial.
- El límite anual de dosis efectiva para la piel es de 50 mSv/año oficial. Cuando la exposición resulta de una contaminación radiactiva cutánea, este límite se aplica a la dosis media sobre una superficie de 100 cm², en la región que recibe la dosis más alta.
- El límite anual para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 50 mSv/año oficial.
- El límite anual de dosis para cualquier órgano o tejido, considerado individualmente, es de 50 mSv/año oficial.

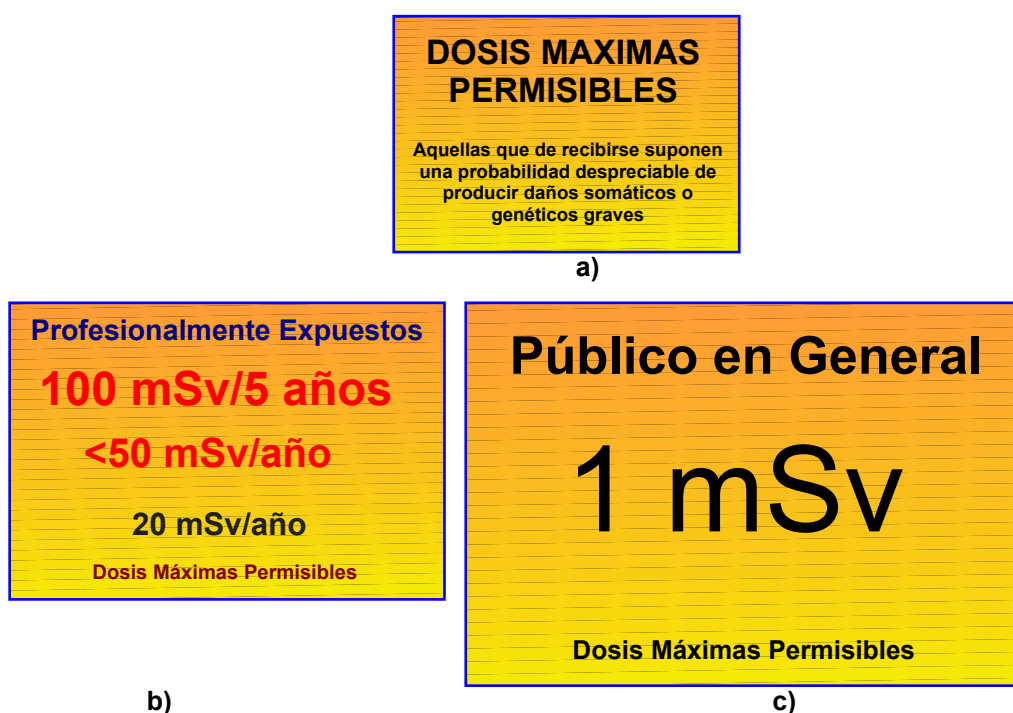


Fig.8.11. Resumen de las Dosis Máximas Permisibles .

Por lo que el límite anual de dosis equivalente efectiva para los miembros del público es de 1 mSv/año; para los distintos órganos es de 50 mSv salvo para el *cristalino* que se establece en 15 mSv.

En la actualidad la ICPR, en sus recomendaciones de 1990 ha establecido la reducción de estos límites a prácticamente al 10 % de los límites establecidos legalmente. Sin embargo, hasta el momento dichas recomendaciones científicas no se han extrapolado a las respectivas legislaciones, y se mantienen como se ha comentado (Fig.8.11)

Con estas medidas del Sistema de Protección Radiológica se pretende disminuir las exposiciones a radiaciones de origen médico. En la actualidad se considera que las exposiciones médicas suponen hasta el 15% del total de las mismas que se recibe a lo largo de toda una vida (figura 8.12.).

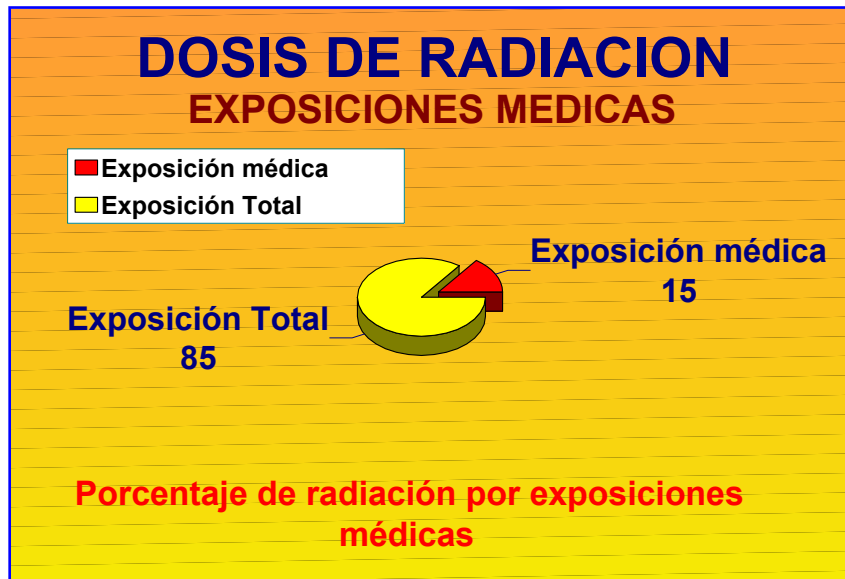


Fig.8.12. Porcentajes de exposición a radiaciones ionizantes.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

INSALUD (1993).- *Manual General de protección radiológica*. Servicio Documentación y Publicaciones, Madrid .

INSTITUTO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA (1997). ***Curso de adiestramiento para operadores de instalaciones radiactivas***. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Madrid.