

RADIACIONES IONIZANTES Y NO IONIZANTES. APLICACIONES Y RIESGOS.

(Actualizado Abril 2003)

José Luis Carrasco Rodríguez
Especialista en Radiofísica Hospitalaria.
Jefe de Servicio de Protección Radiológica
Hospital U. "Virgen de la Victoria" de Málaga.
Tfno.: 951032265
spr.hvv.sspa@juntadeandalucia.es
<http://www.digprint.com/radiofísica>

1. OBJETIVOS BÁSICOS.

- i) Saber qué radiaciones son ionizantes y cuáles no ionizantes, y para cada tipo:**
- ii) Conocer en qué ámbitos aparecen y cómo se generan.**
- iii) Conocer sus efectos biológicos demostrados y/o supuestos.**
- iv) Conocer la forma de cuantificarlas y medirlas (magnitudes, unidades, detectores,...).**
- v) Comprender los riesgos laborales a que se está expuesto al utilizarlas.**
- vi) Conocer cómo nos podemos proteger frente a ellas.**
- vii) Conocer las normas, recomendaciones y legislación en relación con las radiaciones.**

Todo ello, de forma básica pero suficientemente profunda para comprender adecuadamente lo relacionado en los puntos v) y vi).

2. CLASIFICACIÓN DE LAS RADIACIONES.

RADIACIONES	IONIZANTES	Partículas con masa	Alfa
			Beta
			Neutrones
			Otros**
		Rem*	Gamma, RX
	NO IONIZANTES	Rem*	UV
			Visible
			IR
			Microondas
			RF

* Radiación electromagnética

** Otros: protones, núcleos pesados,...

En todos los casos cuando hablamos de radiación estamos pensando en haces formados por un gran número de partículas del tipo que corresponda. Una partícula es ionizante cuando al atravesar un medio e interaccionar con los átomos del mismo, es capaz de arrancar electrones de las capas más externas de la corteza de los átomos, creando iones, que son más inestables y activos químicamente que el átomo neutro inicial.

2.1. Haces de radiación de partículas con masa.

Las partículas masivas que forman los haces de radiación ionizante se distinguen unas de otras básicamente en dos parámetros: su masa y su carga.

NOMBRE	SÍMBOLO	CONSTITUCIÓN	CARGA	MASA
Partícula alfa	α	Núcleo ${}^4_2\text{He}^{++}$	++	$7350 \cdot m_e$
Partícula beta	β	Electrón	-	m_e
Neutrón	n	Neutrón	0	$1839 \cdot m_e$

Donde un - indica la carga eléctrica del electrón, un + el equivalente en positivo de la carga eléctrica del electrón, y $m_e = \text{masa del electrón} = 9,02 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$.

Todas ellas se originan en procesos ocurridos en los núcleos de los átomos.

Las radiaciones alfa son partículas pesadas cargadas positivamente, y son emitidas por átomos de elementos de altos números atómicos como el Uranio y el Radio (en desintegraciones y en fisiones). Son detenidas por una hoja de papel ó por nuestra propia epidermis. Sin embargo, si un material emisor alfa lo inhalamos ó ingerimos, quedarían expuestos directamente nuestros tejidos y recibiríamos gran daño biológico.

Las radiaciones beta son emisiones de haces de electrones originados en los núcleos de los átomos, en su proceso de desintegración. Son más penetrantes que las partículas alfa, y pueden llegar a atravesar 1 ó 2 cm. de agua. En general una hoja de aluminio de pocos milímetros de espesor detendrá el haz de partículas beta.

Los neutrones son partículas no cargadas, que producen ionización indirectamente (esto es, al interaccionar con los átomos de la materia, originan rayos alfa, beta, gamma ó X que producen a su vez ionización). Son muy penetrantes, y para detenerlos se usan masas gruesas de hormigón, agua, parafina,... y en ocasiones venenos neutrónicos.

En términos generales, para las partículas cargadas, la capacidad de penetración será mayor cuanto mayor sea su energía, y el daño biológico será mayor cuanto mayor sea la carga de la partícula (-> ver factor de calidad) y menor la energía.

2.2. Radiación electromagnética (Rem).

En principio todas las Rem son lo mismo: transporte de energía sin soporte material. En todos los casos el transporte se realiza de forma ondulatoria y a igual velocidad en el vacío ($c = 300000 \text{ Km/s}$).

Sin embargo, cuando “tropiezan” con la materia no se comportan igual:

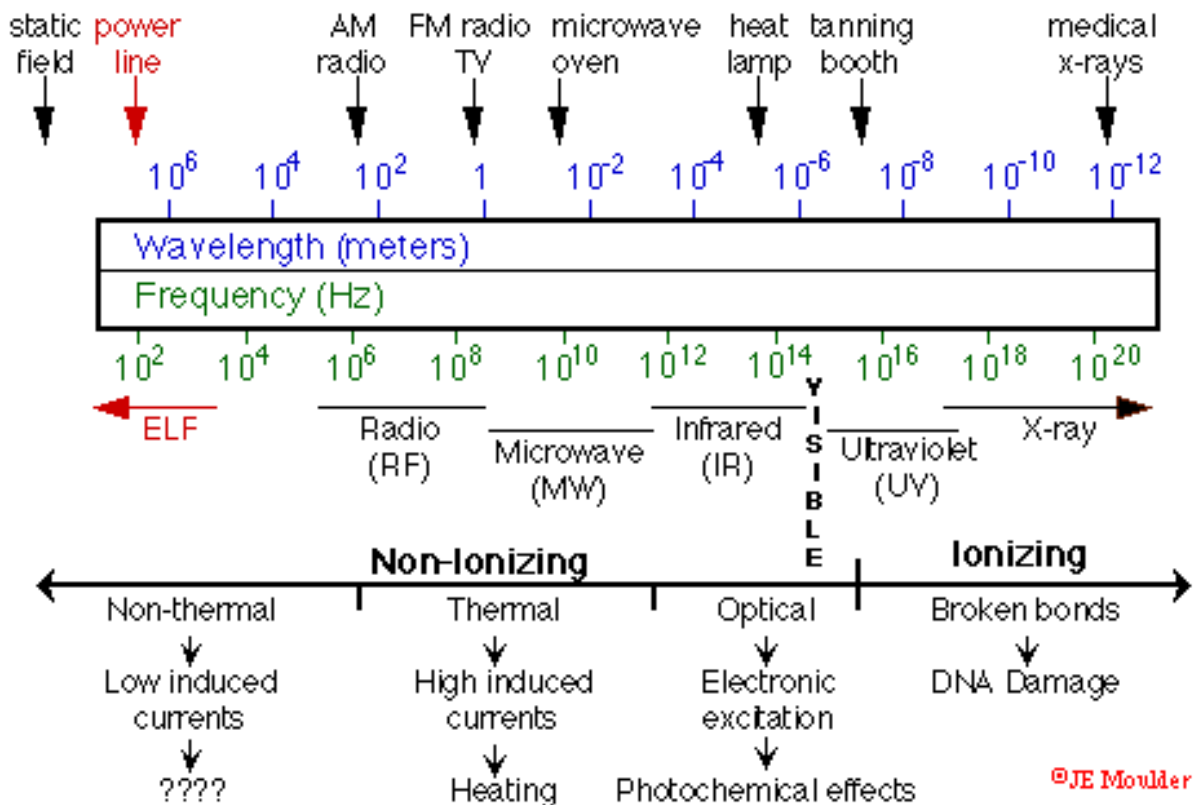
La luz visible podemos “verla”, la radiación X ó las radiofrecuencias no.

La radiación infrarroja la detectamos como calor, aunque no la vemos.

Los rayos X nos atraviesan, sin embargo somos opacos a la luz visible.

El parámetro que distingue un tipo de Rem de otro es su frecuencia: ν , esto es, el número de ondas por segundo que pasan por un cierto punto. La frecuencia se mide en Hz (= 1 ciclo/segundo).

En ocasiones se describe una Rem por su longitud de onda (λ) (dimensiones de distancia (m.)), pero en realidad ambos parámetros no son independientes, puesto que $\nu = c/\lambda$. En la siguiente figura podemos ver los distintos nombres que se dan a la radiación electromagnética según el tramo de frecuencia (ó de energía) en que estemos.



Para explicar algunos comportamientos de Rem de alta frecuencia (en particular la ionización) hemos de ver, sin embargo, al haz de radiación como formado por pequeños paquetes de energía a los que denominamos **fonones** (podrían verse como partículas sin masa en reposo, pura energía). La expresión que relaciona ambos puntos de vista (ondulatorio y corpuscular) de la Rem es la siguiente:

$$E (\text{fotón}) = h \cdot \nu$$

Donde $h = 6,62 \text{ E-}34 \text{ Julio.s}^{-1}$ es la constante de Planck.

De esta forma, una Rem de mayor frecuencia es también una Rem de mayor energía.

Las zonas de más altas energías (RX y rayos γ) son ionizantes (incluso tb. lo es el UV lejano (UVC)); el resto son no ionizantes.

Es costumbre expresar las radiaciones no ionizantes de frecuencia más baja mediante el valor de su frecuencia (Hz), la zona del visible y alrededores (IR, UV) mediante la longitud de onda (nm), y las Rem ionizantes mediante su energía (KeV ó MeV).

Nota: En este ámbito la unidad de energía utilizada es el electronvoltio (eV), en lugar del Julio. El eV es la energía adquirida por un electrón cuando se le somete a una diferencia de potencial de un voltio.

3. ¿EN QUÉ ÁMBITOS APARECEN LAS RADIACIONES?; COMO SE GENERAN?

3.1. Radiaciones ionizantes.

Las radiaciones ionizantes pueden aparecer bien como emisión de materiales radiactivos (sean estos naturales ó creados artificialmente), bien generadas mediante equipamiento eléctrico. En la siguiente tabla se recogen algunas de las aplicaciones de los materiales radiactivos:

UTILIZACIÓN	ISÓTOPOS RADIATIVOS
Telegammaterapia	Cobalto-60
Radioterapia (alta intensidad)	Iridio-192
Radioterapia (baja intensidad)	Cesio-137, Iridio-192
Irradiación de productos sanguíneos	Cobalto-60, Cesio-137
Irradiación industrial	Cobalto-60, Cesio-137
Medidas de espesor	Cobalto-60, Kriptón-85, Cesio-137, Americio-241
Medidas de nivel	Cobalto-60
Medidas de humedad y densidad	Americio, Berilio, Cesio-137
Radiografías industriales	Cobalto-60, Iridio-192
Análisis por fluorescencia de rayos X	Hierro 55, Americio 241, Plutonio 238
Cromatografía en fase gaseosa	Níquel 63, Tritio (Hidrógeno 3)
Detectores de humo, pararrayos radiactivos	Americio 241

En el caso de la generación de energía eléctrica en centrales nucleares, en que se usa habitualmente Uranio como material generador de energía, se obtienen como productos residuales una larga colección de isótopos radiactivos, que emiten todos los tipos de radiaciones ionizantes.

En Medicina se utilizan las radiaciones ionizantes esencialmente en tres ámbitos: Radiodiagnóstico (RX), Medicina Nuclear y Laboratorios (radiación gamma, radiación beta y radiación alfa), y Radioterapia (radiación gamma (Co-60, Ir-192, Cs-137), radiación X (en aceleradores de electrones trabajando en régimen de rayos X), radiación beta y alfa, e incluso neutrones y núcleos pesados). En general para tratamientos se usa radiación con partículas masivas ó Rem de energías más altas, y para diagnóstico Rem de menores energías.

Además aparecen radiaciones ionizantes en aceleradores de partículas de alta energía, reactores de fusión, procedimientos de datación de materiales (C-14), generadores de neutrones ó pilas de larga duración (Pu-238 para funcionamiento de equipos sin posible reposición energética), etc..

3.2. Radiaciones no ionizantes.

Separadas según el tramo del espectro:

1 Hz – 300 KHz	LF, ELF (Radiación de baja y muy baja frecuencia) Campos eléctricos de aparatos, red eléctrica convencional, monitores de video ($3 - 3 \cdot 10^4$ Hz), tramos de radio AM.
300 KHz – 300 MHz	RF (Radiofrecuencias) Tramos de radio AM, radio FM, Onda corta médica (27 MHz), RMN (2,13 MHz para campo magnético de 1T).
300 MHz – 300 GHz	M.O. (microondas) Aparatos domésticos por microondas. Telefonía móvil (900 MHz, 1800 MHz). Microondas para fisioterapia médica: 2450 MHz y 915 MHz. Radar y otras comunicaciones por microondas.
300 GHz – 780 nm	IR (Infrarrojo) Luz solar, aparatos para terapia con calor, láser
780 nm – 400 nm	Luz visible Luz solar, fototerapia, láser.
400 nm – 100 nm	UV (Ultravioleta) Luz solar, materiales por encima de 2700K, tubos fluorescentes, Esterilización de comida y aire, tratamientos de radioterapia,...

El UV más lejano (más alejado de la zona del visible) empieza ya a considerarse radiación electromagnética ionizante.

4. RADIACIONES IONIZANTES

Como ya se ha comentado, las radiaciones ionizantes se producen bien mediante equipamiento eléctrico, bien a partir de materiales radiactivos naturales ó artificiales.

4.1. Actividad de un material. Ley de desintegración radiactiva.

Un material emite radiaciones ionizantes (y decimos que es radiactivo) cuando parte de los núcleos son inestables. La emisión se produce en la transición del estado inestable al estable.

Se denomina **Actividad** de un cierto material al número de desintegraciones por segundo que se producen en él. Cada desintegración originará una ó más partículas (fotones gamma, partículas alfa, beta, neutrones,...), pero en cualquier caso conocer la actividad viene a ser conocer la cantidad de radiación que está emitiendo ese material. La unidad en SI de la Actividad es el **Becquerelio (Bq)**, de forma que si por ejemplo en un material hay un millón de desintegraciones cada segundo, diremos que su actividad es de 1 MBq.

La actividad del material radiactivo decae con el tiempo siguiendo una ley exponencial negativa:

$$A(t) = A(0) \cdot \exp -\{(Ln2 \cdot t)/ T\}$$

Donde $A(0)$ es la actividad en el instante inicial, $A(t)$ es la actividad tras un tiempo t , y T es el **período de semidesintegración** del material. T representa el tiempo que debe transcurrir para que la actividad de la muestra quede reducida a la mitad.

Por ejemplo, el Tecnecio-99m tiene $T = 6$ horas; esto significa que si hoy a las 10:00 tengo en un frasco 300 MBq de Tc-99m, a las 16:00 tendré 150 MBq, a las 22:00 me quedarán 75 MBq,...

En el caso del Pu-239 con un T del orden de 10000 años, aunque pasen varios días tengo lo mismo que al principio.

Como se puede comprender, en principio un material radiactivo es más problemático cuanto más grande es su periodo de semidesintegración, y cuanto mayor es la actividad inicial de la que partimos.

4.2. Comportamiento de la radiación ionizante.

Supongamos que ya tenemos un haz de radiación ionizante, bien obtenido a partir de un material radiactivo, bien generado en un equipo de rayos X. Llamemos N al número de partículas del haz por cm^2 y por segundo.

- Comportamiento en el vacío (ó aprox. en aire)

Si la fuente puede asumirse como puntual, y el haz es isótropo y homogéneo, se verifica la **ley del inverso del cuadrado de la distancia**. Esto es, si a un metro de la fuente recibo N partículas por cm^2 y por segundo, a dos metros recibiré $N/4$, a tres metros recibiré $N/9$, a cinco metros $N/25$,...

- Comportamiento en presencia de un medio material

El haz de radiación al encontrarse un medio material se atenúa en un porcentaje que tiene que ver con qué partículas lo formen, cuál sea la energía de estas y cuál sea el medio material:

1. Las partículas con carga se van frenando paulatinamente por choques con los átomos del medio, y si el material es suficientemente grueso pueden llegar a atenuarse completamente el haz.
¡ En cada frenazo que sufre una partícula cargada se emiten a su vez fotones ionizantes!
2. Los fotones y neutrones interactúan catastróficamente con los átomos del medio; esto significa que para un cierto fotón (ó neutrón) se tiene que ó pasa limpiamente (sin enterarse de que hay un material por medio) ó es absorbido por el medio. Y esto se traduce en que la atenuación de este tipo de haces es exponencial negativa, siguiendo una ley del tipo:

$$M(x) = M(0) \cdot \exp - (\mu \cdot x)$$

donde $M(x)$ es en número de fotones tras grosor x del material, $M(0)$ es el número de fotones antes del material y μ es el **coeficiente de atenuación lineal** que depende de la energía del haz y el material que intercepta.

Cuando diseñamos blindajes contra la radiación deseamos que la atenuación sea la máxima posible. En el caso de fotones se consigue con materiales de alto número atómico (p.e. plomo); para partículas beta materiales de bajo número atómico (seguidos de plomo); en el caso de neutrones, hormigón ó blindajes más finos con hasta tres capas distintas (parafina, veneno neutrónico, plomo).

4.3. ¿Cómo cuantificamos la radiación ionizante?

Exposición (X)

Un haz de radiación ionizante al atravesar un medio provoca su ionización; esto es, a su paso va arrancando electrones de los átomos presentes y dejando en lugar del átomo un ión cargado positivo.

Podemos utilizar como parámetro para cuantificar la “cantidad de radiación”, la cantidad de cargas de un signo creadas. En realidad la magnitud que se utiliza es la cantidad de cargas creadas por unidad de masa del medio atravesado (esta magnitud se denomina Exposición, y su unidad tradicional era el Roëntgen (R); la unidad en el SI es el Culombio/Kg).

Sin embargo es más habitual utilizar la magnitud **Dosis**.

Dosis absorbida (D)

Cuando la radiación atraviesa el material, se invierte una cantidad de energía por cada electrón liberado. Si en lugar de contar la cantidad de carga, consideramos la energía que el material ha absorbido para que se haya generado la carga, estamos midiendo dosis absorbida.

Esto es, **dosis absorbida** en un cierto material al ser atravesado por la radiación se define como la energía depositada en el material por la radiación por unidad de masa del material. La dosis absorbida se mide en Julio/Kilogramo, y a esta unidad se le da nombre propio: Gray (Gy).

Así, por ejemplo en los tratamientos de Radioterapia se suele dar un valor de dosis total al tumor de 45-50 Gy. Ó en una placa de Tórax se da un valor de dosis *a la entrada del paciente* de unos 0,3 mGy.

Dosis equivalente (H)

En realidad lo nos importa al final es el daño biológico, y resulta que para igual dosis absorbida el daño es distinto según el tipo de radiación ionizante: por ejemplo los haces de neutrones son más dañinos que los de radiación X.

Para tener esto en cuenta, la dosis absorbida se multiplica por un factor sin dimensiones (llamado **factor de calidad**) mayor cuanto mayor es el daño causado por ese tipo de radiación. Al resultado se le llama **dosis equivalente**, y también se mide en Julio/Kilogramo. Pero a su unidad (resultado de multiplicar 1 Gy por el factor de calidad) se le llama **Sievert (Sv)**.

TIPO DE PARTÍCULA	FACTOR DE CALIDAD (Q)
Fotones (X y γ), electrones	1
Neutrones, protones, alfa	10
Núcleos pesados	20

Así, si somos irradiados por un equipo de rayos X, y nuestro cuerpo absorbe 1 J/Kg, estamos recibiendo una dosis absorbida de 1 Gy, y una dosis equivalente de 1 Sv. Si nos hubiéramos irradiado por un haz de neutrones, habríamos recibido una dosis absorbida de 1 Gy, y una dosis equivalente de 10 Sv. En el segundo caso el daño sufrido sería del orden de 10 veces el daño del primer caso.

Dosis efectiva (E)

Por último resulta que cuando somos irradiados no todos nuestros órganos responden igual: unos son más radiosensibles que otros. De ahí que para caracterizar la aparición de efectos radioinducidos cuando la irradiación afecta a más de un órgano, se haya creado la magnitud **Dosis efectiva**.

Dada una cierta irradiación, para calcular el valor de dosis efectiva sobre el organismo basta multiplicar la dosis equivalente recibida en cada órgano por un **factor de ponderación del tejido**, para acabar sumando todos los productos. Esta magnitud se mide también en Sv, y se acepta como el mejor parámetro para caracterizar la probabilidad de aparición de efectos biológicos en valores de dosis habituales laborales (dosis por debajo de umbral de efectos deterministas).

TEJIDO U ÓRGANO	FACTOR DE PONDERACIÓN(1990)
Gónadas	0,2
Médula ósea (roja)	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Vejiga	0,05
Mama	0,05
Hígado	0,05
Esófago	0,05
Tiroides	0,05
Piel	0,01
Superficie ósea	0,01
Resto del cuerpo	0,05

Ejemplo práctico: Supóngase que un individuo ha sufrido irradiación por fotones de forma que recibió 1 mGy en gónadas, y 4 mGy en vejiga; y además sufrió irradiación por neutrones que le reportaron 3 mGy en piel y 2 mGy en colon.

Entonces habrá recibido: 1 mSv en gónadas, 4 mSv en vejiga, 30 mSv en piel y 20 mSv en colon de dosis equivalente, y

$$1 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 30 \cdot 0,01 + 20 \cdot 0,12 = 3,1 \text{ mSv de dosis efectiva.}$$

Si ahora queremos saber qué podría implicar lo anterior, hemos de saber que de acuerdo con la ICRP-60, si un grupo de 100000 personas estuvieran expuestas a 1 mSv de dosis efectiva cada una (adicional al fondo), se estima que cinco de ellas presentarían cáncer radioinducido a lo largo de su vida.

Por tanto nuestro individuo tendría una probabilidad de unos $3,1 \cdot 5 = 15$ ó 16 en 100000 de sufrir cáncer radioinducido por la irradiación anterior.

Los valores límites de dosis de la Legislación, recomendaciones,... están escritos de mSv (bien sea dosis equivalente cuando se trata de límites locales, bien dosis efectiva cuando se trata de irradiación a cuerpo entero).

4.4. ¿Cómo medimos la radiación ionizante?

Como no somos sensibles a la radiación ionizante, necesitamos instrumentos que nos indiquen su presencia y nos la cuantifiquen. Los dosímetros son los aparatos con los que podemos medir la dosis.

Según el fenómeno físico que emplean para la medida pueden ser: de ionización gaseosa (cámara de ionización, contador proporcional ó Geiger-Müller), de película fotográfica, de termoluminiscencia, de centelleo,...

Según el objetivo pueden ser: para dosimetría ambiental ó para dosimetría personal.

Para dosimetría ambiental suelen utilizarse detectores de ionización gaseosa.

Para dosimetría personal están más extendidos los de película fotográfica y los de termoluminiscencia.

4.5. ¿Qué efectos biológicos produce la radiación ionizante?

Bien de forma directa, bien de forma indirecta (generación de radicales libres), los daños biológicos de las radiaciones ionizantes son esencialmente sobre el núcleo de las células; en particular sobre su material genético (ADN).

Básicamente, al incidir la radiación ionizante sobre una célula tenemos las siguientes posibilidades:

	<u>CONSECUENCIA</u>
* No se produce alteración del material genético	No hay daño biológico
* Se produce alteración del material genético:	
• La célula es capaz de repararlo	No hay daño biológico
• La célula muere	Reposición ó pérdida funcional
• Se produce mutación	Cáncer ó efecto hereditario

En cualquier caso el efecto será probabilístico (como lo es la interacción de la radiación), no selectivo e inespecífico.

Desde el punto de vista macroscópico los efectos pueden ser:

- **Deterministas:** El efecto es proporcional a la dosis recibida. Esto es, a mayor dosis mayor daño biológico. Ocurren en general cuando son reflejo de muerte de muchas células, lo que puede conducir a pérdida de funcionalidad del órgano. Para que ocurran se ha de superar un cierto valor de dosis (umbral).
Suelen presentarse de forma más ó menos inmediata.
Ej: cataratas en cristalino (umbral: 1000 mSv), radiodermatitis, síndromes agudos de irradiación (dosis letal efectiva: 10000 mSv).
Ej: por encima de 100 mSv son apreciables aberraciones cromosómicas en los linfocitos. El conteo de esas aberraciones es la base de la dosimetría biológica.
- **Probabilistas:** La probabilidad del efecto es proporcional a la dosis recibida. Se asume que pueden ocurrir desde una mínima cantidad de radiación (no hay umbral). El ejemplo prototípico es el cáncer: basta una célula con mutación para generar un tumor. Suelen presentarse con período de latencia más largo (incluso en generaciones posteriores: efectos hereditarios).

4.6. ¿Qué es la Protección Radiológica?

Protección Radiológica es la disciplina dedicada a la creación, desarrollo y aplicación de principios que garanticen que personal expuesto profesionalmente, público y pacientes no sufran efectos biológicos deterministas debidos a la radiación ionizante, y la probabilidad de aparición de efectos probabilistas quede limitada a un valor socialmente aceptable.

Las recomendaciones, normativa y principios de la Protección Radiológica han venido siendo desarrollados desde hace años por varios organismos:

- Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Establece los principios básicos a nivel internacional.
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). Incorpora los principios a Normas Básicas de seguridad en materia de Protección Radiológica.

- Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR),...

En cualquier caso, los principios básicos son tres:

1. **Justificación.** Una actividad en que esté implicada emisión de radiaciones ionizantes sólo se llevará a cabo si da lugar a beneficio.
2. **Optimización.** Una vez que la actividad esté justificada, se llevará a cabo buscando que las dosis a que dé lugar se mantengan tan bajas como sea posible (ALARA)
3. **Limitación.** En ningún caso, la actividad dará lugar a valores individuales de dosis por encima de los límites establecidos para cada caso.

Los límites actualmente en uso en España están recogidos en el RD 783/2001 (Reglamento de Protección Sanitaria contra las radiaciones ionizantes), Real Decreto que ha sustituido recientemente al RD 53/1992, y supone la transposición a nuestra normativa de la Directiva 96/26/EURATOM.

LÍMITES DE DOSIS (RD 783/2001)

PERSONA		LÍMITE ANUAL (mSv)	LÍMITE ESPECIAL (mSv)
Personal profesionalmente expuesto	Cuerpo entero	20	
	Manos	500	
	Piel	500	
	Cristalino	150	
Público (cuerpo entero)		1	
Estudiantes	Edad<16	---	
	16<edad<18	6	
	Edad>18	20	
Embarazadas			1 al feto en todo el embarazo

Además no podrán trabajar en actividades con riesgo significativo de contaminación radiactiva las mujeres en periodo de lactancia.

4.7. ¿Cómo aplicamos en la práctica la Protección Radiológica? (Protección Radiológica Operacional)

Las actividades de Protección Radiológica comienzan antes de poner en marcha la actividad generadora de radiaciones, se mantienen todo el tiempo de vigencia de la actividad, y en ocasiones permanecen incluso después de clausurada la instalación.

- i) En primer lugar se requieren las correspondientes autorizaciones de las Autoridades Competentes (Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (1999)). Según el tipo de instalación (nuclear ó radiactiva (1ª, 2ª ó 3ª categoría) se exige presentar en el MINER una serie de Memorias relativas a la Construcción y Puesta en Marcha de las Instalaciones.
- ii) Para obtener las correspondientes autorizaciones, las memorias deben contener, entre otros puntos, un estudio coherente de los blindajes estructurales con que se dotará a la instalación.

Los blindajes que se utilizarán dependerán de:

1. El tipo de partículas ionizantes y energías que se generarán.
2. Si el haz que incide sobre la estructura es directo ó disperso.
3. La ocupación de los espacios colindantes.
4. La carga real de trabajo de la instalación (esto es, el porcentaje de tiempo sobre el total en que realmente se estén generando radiaciones).
5. Los costes y facilidad de obtención y manejo del material de blindaje

En función de los puntos anteriores se decidirán qué materiales y con qué grosor se utilizan para blindar cada estructura.

- iii) Se deberá dotar a la instalación de las dependencias adecuadas y se estudiarán los accesos, facilidad de movimientos,... en función de los riesgos posibles para asegurar mínimos valores de dosis a trabajadores y público.

En el trabajo con radiaciones ionizantes pueden presentarse dos tipos de riesgos:

IRRADIACIÓN, y CONTAMINACIÓN

RIESGO DE IRRADIACIÓN:

Hablamos de irradiación cuando la radiación que recibe el individuo procede de fuentes no incorporadas a su cuerpo. En general, se tendrá irradiación cuando el haz radiactivo proceda de fuentes externas a la persona (equipo de RX, materiales radiactivos fuera del cuerpo,...).

La irradiación dura el tiempo que estemos próximos a la fuente, y será menor cuanto más alejados estemos de ella. En ningún caso será transmisible de unos individuos a otros.

RIESGO DE CONTAMINACIÓN:

De acuerdo al RD 783/2001, “contaminación radiactiva es la presencia indeseable de sustancias radiactivas en una materia, una superficie, un medio cualquiera o una persona. En el caso particular del organismo humano, esta contaminación puede ser externa o cutánea, cuando se ha depositado en la superficie exterior, o interna, cuando los radionucleidos han penetrado en organismo por cualquier vía (inhalación, ingestión, percutánea,...)”.

Todo el tiempo que permanezca la contaminación, el individuo se estará irradiando, por lo que contaminación radiactiva siempre va acompañada de irradiación.

Además bajo ciertas circunstancias, la contaminación radiactiva podrá pasar de unos individuos a otros.

- iv) Se dotará de prendas de protección adecuadas al personal (mandiles plomados, guantes plomados, batas y patucos desechables, máscaras,...) de acuerdo a los riesgos inherentes a la actividad, y a la instalación de los sistemas de detección de radiación pertinentes (detectores de fugas en centrales nucleares, dosimetría ambiental fija en salas de Medicina Nuclear, detectores a la salida de zonas con riesgo de contaminación,...)

- v) De acuerdo con el RD 783/2001, se clasificará al personal profesionalmente expuesto (categoría A, categoría B) dotándole de la dosimetría personal cuando esté indicado según su clasificación. De igual forma se clasificarán las zonas de trabajo (libre acceso, vigilada, controlada, permanencia limitada, permanencia reglamentada, acceso prohibido) señalizando el acceso a ellas (tréboles gris, verde, amarillo, ámbar, rojo respectivamente, con (riesgo de contaminación) ó sin (sólo riesgo de irradiación) fondo punteado (ver Anexo I).
Ambas clasificaciones se mantendrán actualizadas en función de los resultados dosimétricos (personales y de área) recogidos.
Se llevarán a cabo las revisiones médicas iniciales y periódicas anuales por parte de un Servicio de Prevención (categoría A).
- vi) El personal profesionalmente expuesto estará formado en materia de Protección Radiológica, y conocerá los procedimientos a seguir en la instalación (protocolos por escrito). Si así lo requiere el puesto, deberá estar en posesión de la correspondiente Acreditación ó Licencia (Supervisor u Operador) en vigor.
- vii) Se generarán y pondrán en marcha planes de garantía de calidad con el objeto de reducir al mínimo posible las dosis a trabajadores y público en general (RD's de garantía de calidad en RX, MN ó Radioterapia).
- viii) Cuando sea requerido por el Consejo de Seguridad Nuclear se dispondrá de un Servicio de Protección Radiológica propio ó concertado que realice las labores de Protección Radiológica.

UNA VEZ QUE EL PROFESIONAL ESTÉ TRABAJANDO EXPUESTO A RADIACIONES IONIZANTES, A TÍTULO PERSONAL DEBE SABER QUE, PARA MINIMIZAR RIESGOS:

1. **CUANTO MÁS LEJOS DE LA FUENTE DE RADIACIÓN, MEJOR (Ley de Inverso de Cuadrado de Distancia).**
2. **CUANTO MENOR TIEMPO EN CONTACTO CON RADIACIÓN, MEJOR. (Relación lineal entre dosis y tiempo de exposición).**
3. **CUANTO MAYOR GROSOR DE MATERIAL ENTRE ÉL Y LA FUENTE DE RADIACIÓN HAYA, ESTARÁ SOMETIDO A MENOS DOSIS. (Atenuación de radiación por blindajes).**
4. **SI PRESENTA CONTAMINACIÓN EXTERNA DEBERÁ ELIMINARLA CUANTO ANTES, PERO SIEMPRE EVITANDO QUE PASE A INTERNA.**

4.8. ¿Qué Legislación hay relacionada con las radiaciones ionizantes?

La Legislación española en materia de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica es muy extensa. Está conformada por Leyes Generales (Ley de Energía Nuclear (1964), Ley de Creación del CSN (1980), Ley de Tasas del CSN (1999)), y Reales Decretos (Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (1999), Reglamento de Protección contra RRII (2001),...) y Órdenes Ministeriales que las desarrollan.

A su vez, Guías editadas por el Consejo de Seguridad Nuclear y recomendaciones generadas por otros Organismos y Sociedades Nacionales e Internacionales ayudan a poner en práctica la reglamentación.

Desde nuestra incorporación a las Comunidades Europeas, el proceso habitual para generación de los más importantes Decretos y Reglamentos viene a ser:

Recomendaciones CIPR, OIEA,... → Incorporación como Directiva Europea
→ Transcripción a Normativa Nacional.

Normativa básica actual que es conveniente conocer es la siguiente (algunos de estos textos legales pueden descargarse en texto íntegro de la página de la Unidad de Radiofísica (H.U. “Virgen de la Victoria”: <http://www.digprint.com/radiofisica>)

* Ley 25/1964, de 29 de Abril sobre Energía Nuclear (BOE nº 107, 4/5/64).

* Ley 15/1980, de 22 de Abril de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear (BOE nº 100, 25/4/80).

* Real Decreto 1891/1991, de 30 de Diciembre sobre Instalación y Utilización de Aparatos de Rayos X con fines de Diagnóstico Médico (BOE nº 3, 3/1/92)

* Resolución del Consejo de Seguridad Nuclear de 5 de Noviembre de 1992 por la que se establecen las normas a que habrán de sujetarse la homologación de cursos ó programas que habiliten para la dirección y operación de las instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico y la acreditación directa del personal que ejerza dichas funciones (BOE nº 274, 14/11/92)

* Real Decreto 413/1997, de 21 de Marzo, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada (BOE nº 91, 16/4/97)

* Real Decreto 1836/1999, de 3 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas. (BOE nº 313, 31/12/99)

* Real Decreto 783/2001, de 6 de Julio por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (BOE nº 178, 26/7/01)

Documento internacional de interés:

International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA, 1997

4.9. Páginas web útiles relativas a radiaciones ionizantes

- Consejo de Seguridad Nuclear www.csn.es
- Comisión Internacional de PR www.icrp.org
- Comisión Europea www.europa.eu.int
- Organización I. de E. Atómica www.iaea.org
- Org. Mundial de la Salud www.who.ch
- UNSCEAR www.unscear.org
- AAPM (US) www.aapm.org/MedPhys
- NRPB (UK) www.nrpb.org
- SEPR www.sepr.es
- SEFM www.sefm.es

4.10. APLICACIÓN A LOS CAMPOS LABORALES PARTICULARES

4.10.1. RADIODIAGNÓSTICO.

*** Objetivo:** Diagnóstico.

*** Equipamiento:** El propio de las instalaciones de Radiodiagnóstico:

1. Equipo de RX: Básico, General (básico + radioescopia), Arco Quirúrgico, equipo portátil, mamógrafo ó TAC.
2. Reveladora: Cuarto oscuro, luz-día ó láser.
3. Película radiográfica + chasis.
4. Negatoscopios.

El único equipo emisor de radiación ionizante es el equipo de RX.

*** Tipo radiación:** Rayos X de energía:

1. 27 –35 KeV en mamografía.
2. 50 –150 KeV en radiografía convencional.
3. 70 – 80 Kev de radiografía dental.

*** Riesgo presente:** Sólo irradiación.
Exclusivamente durante el disparo.

*** Diseño de instalación:**

En general, la sala en que se encuentra el equipo de RX (Radiodiagnóstico convencional ó TAC) debe estar adecuadamente plomada (puertas y ventanas incluidas) con el objeto de reducir a valores aceptables el nivel de radiación que escape de ella. Lo habitual: paredes con un equivalente de 2 ó más mm. de plomo.

Dependiendo del tamaño de la sala y la carga de trabajo puede no ser necesario blindar la sala de un equipo dental de RX ó el quirófano en que esté instalado un arco quirúrgico.

En el caso de mamografía el trabajador suele estar dentro de la sala de RX protegido mediante una mampara.

*** Protección del trabajador y paciente:**

1. Protección estructural mediante blindajes.
2. Clasificación de zonas (señalización).
3. Uso de prendas de protección individuales en caso de exposición directa: mandiles, guantes, protectores de tiroides y gafas plomadas.
4. Clasificación del personal (categorías A y B).
5. Revisiones médicas iniciales y periódicas anuales (SME).
6. Dosimetría personal (solapa y, según el caso, muñeca).
7. Formación en materia de Protección Radiológica (Acreditación de Operador ó Director de Instalaciones de RX).

8. Actuación según procedimientos que aseguren mínima irradiación a personal, pacientes y público:
 - Estancia fuera de sala de rayos X.
 - Protección en caso de permanecer en su interior.
 - Acceso controlado a sala de rayos X; cierre de puertas.
 - Colimación de campo, evitar repeticiones innecesarias.
 - Uso de protectores de paciente, y técnicas que aseguren mínimas dosis al paciente.
 - Actuación en caso de emergencia (básicamente cortar el suministro eléctrico).

....

9. Corroboración de correcto estado de instalación y equipo mediante (siguiendo el RD 1976/1999):
 - Medidas ambientales de dosis.
 - Medidas de dosis a paciente.
 - Control de calidad del equipamiento (criterios de aceptabilidad).

*** Legislación particular:**

- Orden de 18 de Octubre de 1989 por la que se suprimen las exploraciones radiológicas sistemáticas en los exámenes de salud de carácter preventivo.
- Real Decreto 1891/1991, de 30 de Diciembre sobre Instalación y Utilización de Aparatos de Rayos X con fines de Diagnóstico Médico (BOE nº 3, 3/1/92).
- Resolución del Consejo de Seguridad Nuclear de 5 de Noviembre de 1992 por la que se establecen las normas a que habrán de sujetarse la homologación de cursos ó programas que habiliten para la dirección y operación de las instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico y la acreditación directa del personal que ejerza dichas funciones (BOE nº 274, 14/11/92).
- Real Decreto 1976/1999, de 23 de Diciembre, por el que se establecen los criterios de calidad en Radiodiagnóstico (BOE nº 311, 29/12/99).
- Real Decreto 815/2001, sobre justificación de exposiciones médicas

4.10..2. MEDICINA NUCLEAR Y LABORATORIOS.

- * **Objetivo:** Diagnóstico y tratamiento.
- * **Equipamiento:** En general equipos detectores de radiación y actividad: contadores, activímetros, gammacámara, SPECT,...
El elemento clave en la actividad no es el equipamiento propiamente dicho sino el material radiactivo, que da lugar al riesgo por radiación en estas instalaciones.
- * **Tipo radiación:** Rayos γ de cientos de KeV (ej.: Tc-99m con 140 KeV).
Radiación beta (básicamente en tratamientos y laboratorios).
Radiación alfa (laboratorios).
- * **Riesgo presente:** Irradiación y contaminación.
Riesgo presente siempre que haya material radiactivo (en todo momento de la vida de la instalación).

* **Diseño de instalación:**

En el caso de Medicina Nuclear son necesarias múltiples salas con blindaje estructural adecuado:

- Almacén de isótopos.
- Almacén de residuos radiactivos.
- Sala de manipulación.
- Sala de inyección.
- Sala de espera de pacientes inyectados (con aseos de pacientes).
- Sala de gammacámara.
- Aseo de descontaminación.

Si además se realiza terapia metabólica: habitación plomada para paciente.

En caso de Laboratorios, al menos almacén de material radiactivo, sala de manipulación, almacén de residuos y zona de descontaminación.

* **Protección del trabajador, paciente y público:**

1. Protección estructural mediante blindajes.
2. Protección adicional no individual: cámaras blindadas, visores blindados, carrito blindado para residuos diarios, mampara móvil blindada, jeringas plomadas,...
3. Clasificación de zonas (señalización indicadora de riesgo de contaminación).
4. Uso de prendas de protección individuales: mandiles, guantes,...
5. Clasificación del personal (categorías A y B).
6. Revisiones médicas iniciales y periódicas anuales (SME).

7. Dosimetría personal (solapa y muñeca).
8. Formación en materia de Protección Radiológica (para toda persona que manipule material radiactivo Licencia como Supervisor u Operador de la Instalación).
9. Actuación según procedimientos que aseguren mínima irradiación a personal, pacientes y público:
 - Mínimo tiempo y máxima distancia a fuentes radiactivas (antes y después de ser incorporadas a los pacientes).
 - Utilización de mínima actividad compatible con el objetivo.
 - Información al paciente (protección del público).
 - Utilización sistemática de guantes, papel secante sobre superficies, superficies no cortantes,...
 - Acceso controlado a las salas; cierre de puertas.
 - Mantenimiento en correcto estado de detectores ambientales de radiación
 - Conocimiento y aplicación de los procedimientos de descontaminación (principal situación de emergencia junto con el incendio).
 - Evitar en todo caso que la contaminación de materiales se convierta en contaminación corporal externa, y que ésta pase a interna.
 - Monitoreo personal de contaminación antes de abandonar la instalación.
 - Eliminación controlada de residuos radiactivos.....
10. Corroboración de correcto estado de instalación y equipo mediante:
 - Controles de contaminación de superficies.
 - Medidas de niveles ambientales de dosis.
 - Control de calidad del equipamiento: gammacámara y activímetro.
 - Control de radiofármacos.

*** Legislación particular:**

- Real Decreto 1522/1984, de 4 de Julio por el que se autoriza la constitución de la "Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (ENRESA)" (BOE nº 201, 22/8/84)
- Real Decreto 479/1993, de 2 de Abril de 1993 por el que se regulan los medicamentos radiofármacos de uso humano (BOE nº 11806, 7/5/93).
- Real Decreto 1841/1997, de 5 de Diciembre de 1997, por el que se establecen los criterios de calidad en medicina nuclear (BOE nº 303, 19/12/97).
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas. (BOE nº 313, 31/12/99).

4.10.3. RADIOTERAPIA.

- * **División básica:** Radioterapia externa y Braquiterapia.
- * **Objetivo:** Tratamiento (básicamente cáncer).
- * **Equipamiento:** En Radioterapia externa:
 - Bomba de Cobalto (Co-60).
 - Acelerador de electrones (equipo eléctrico; sin fuentes radiactivas).
 - Otros equipos generadores de haces de alta energía.En Radioterapia interna se utilizan fuentes encapsuladas en contacto con el cuerpo, y en el caso particular de sistemas de alta tasa de dosis, equipos de carga diferida.
- * **Tipo radiación:** Radiación γ de miles de KeV (ej.: Co-60 con 1,25 MeV).
Haces de electrones, y otras partículas cargadas.
Tratamientos con neutrones

Radiación γ (ocasionalmente beta) en braquiterapia: Ir-191, Cs-137,...
- * **Riesgo presente:** Irradiación. Riesgo potencial de contaminación en caso de incorrecto encapsulamiento de las fuentes.
Riesgo presente siempre que haya material radiactivo.
- * **Protección de trabajador y paciente:**
 - 1. **Diseño de instalaciones:**
 - Dependiendo del tipo de instalación.
 - En todas ellas, elevados niveles de radiación; en general escaso contacto ppe-radiación; esencial la Protección Radiológica del paciente.
 - **Teleterapia:**
 - Búnker en sótano con gruesas paredes de hormigón.
 - Utilización de “laberintos” y puertas con blindaje en varias capas.
 - Atención a las penetraciones.
 - **Braquiterapia:**
 - Almacén-quirófano-habitación (WC).
 - Plomo típico material de blindaje.
 - Todas las paredes son barreras primarias.
 - Uso de fuentes encapsuladas en proximidad al ppe -> Mayores dosis.

2. Elementos no estructurales de Protección Radiológica:

- Dependiendo del tipo de instalación.
- **Teleterapia:**
Protección al paciente:
 - Seguridades de sistemas: Contadores redundantes, frenos de movimiento, enclavamientos,...
 - Sistemas TV, interfono sala-control, estoque emergencia (Co-60).
 - Realización de planimetrías con modernos sistemas.*Protección al ppe:*
 - Puerta: relé, luminosos, señalización general.
 - Detectores de radiación con indicación fuera de sala.
 - Pastilla de Co-60: blindaje de alto número atómico.
- **Braquiterapia:**
Protección al paciente:
 - Aseguramiento retirada de fuentes.
 - Control duplicado del tiempo.
 - Realización de estudios dosimétricos.*Protección del ppe:*
 - Equipos de protección en gammateca y habitación.
 - Contenedores plomados para el transporte.
 - Control hermeticidad de fuentes.
 - Implantación de carga diferida.

3. Protección Radiológica Operacional:

- Formación y existencia de Protocolos.
- Respeto a las normas de trabajo tendentes a disminuir al mínimo las dosis individuales de los trabajadores (comprobación de presencia de compañeros en sala antes de irradiar, no acceso a sala de tratamiento en braquiterapia, utilización de protecciones individuales,...)
- Clasificación de zonas (señalización) y personal.
- Evaluaciones de dosis (área y personal)
- Conocimiento y aplicación de planes de emergencia: línea de responsabilidad clara.
Casos:
Co-60.- No retirada de fuente. Incendio.
ALE.- Uso de "setas" (pulsador de apagado de equipo).
Braquiterapia.- Pérdida de fuente; necesidad de atención médica ó muerte. Incendio.

* Legislación particular (adicional a la anterior):

Real Decreto 1566/1998, de 17 de Julio, por el que se establecen los criterios de calidad en Radioterapia (BOE nº 206, 28/8/98)

5. RADIACIONES NO IONIZANTES.

Al contrario que en el caso de las radiaciones ionizantes, para las radiaciones no ionizantes:

1. Sólo en los últimos años han suscitado interés desde el punto de vista de sus efectos biológicos nocivos, porque con anterioridad los efectos inmediatos y palpables eran fáciles de controlar (no mirar a la fuente láser para evitar quemaduras en cristalino, no entrar con marcapasos en sala de RMN,...), y se asumía que no existían otros efectos. Además el crecimiento exponencial de equipamiento generador de este tipo de radiación (sea láser, RMN, telefonía móvil, microondas,...) data de no más de quince años hacia atrás.
2. Se desconoce si en realidad pueden dar lugar a efectos microscópicos (nivel celular) más allá de deposición de calor ó generación de pequeñas corrientes eléctricas (según la zona del espectro), que salvo casos extremos, parecen reversibles.
3. No hay estudios epidemiológicos amplios y concluyentes que puedan sustituir a la ignorancia descrita en 2., debido tanto a la actualidad del problema como a la cantidad de factores que pueden influir en el resultado de los estudios (piénsese por ejemplo para el estudio de la relación de ELF – cáncer, la cantidad de factores carcinogénicos que afectan en paralelo a la población estudiada).
4. Los pocos resultados epidemiológicos que se tienen apuntan en muchas ocasiones en direcciones opuestas: A un trabajo que parece indicar una relación clara entre cáncer y radiación no ionizante se enfrenta otro que, en iguales condiciones, parece indicar lo contrario.
5. La legislación, como resultado de todo lo anterior, había hasta hace muy poco ignorado todo lo referente a los riesgos derivados de la radiación no ionizante, a la espera de tener resultados científicos probados. En concreto, ya disponemos del Real Decreto 1066/2001, de 28 de Septiembre, que establece medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas (microondas, frecuencias bajas y muy bajas del espectro electromagnético), y del Real Decreto 1002/2002, de 27 de Septiembre, que busca garantizar la seguridad del consumidor frente a la radiación ultravioleta empleada para el bronceado artificial.
6. Por tanto, y con la salvedad del punto anterior, de momento nos hemos de guiar, a efectos de marcar límites de seguridad, de tablas generadas por Organismos que a nivel internacional trabajan sobre el tema, y a efectos de establecer procedimientos de trabajo con equipos, marcaje de zonas,... de documentos tipo UNE, ISO,...

En este documento revisaremos qué se sabe acerca de las radiaciones no ionizantes, acerca de sus unidades de medida, de los riesgos derivados de su uso (seguros y presuntos) y aportaremos tablas de límites establecidos a nivel internacional, fijándonos en algunas actividades laborales que en particular dan lugar a exposiciones a radiaciones no ionizantes muy por encima del fondo natural y doméstico. Repasaremos asimismo, lo recogido en los Reales Decretos 1066/2001 y 1002/2002.

Dada la heterogeneidad de las radiaciones incluidas dentro del grupo general de electromagnéticas no ionizantes, crearemos un apartado para cada tramo del espectro. Asimismo, dadas las características especiales que presenta, otro apartado estará dedicado al láser.

ZONA ÓPTICA

5.1. Radiación ultravioleta (UV).

i) Localización.

Se denomina UVA (ó cercano) a la Rem de longitud de onda entre 315 y 400 nm.

Se denomina UVB (medio) a la Rem de longitud de onda entre 280 y 315 nm.

Se denomina UVC (ó lejano) a la Rem de longitud de onda entre 100 y 280 nm.

ii) Generación. Fuentes.

Se origina a partir de transiciones electrónicas de capas exteriores de átomos (frente a los rayos X que se originan en transiciones de capas interiores).

La fuente principal de radiación ultravioleta es el Sol: contiene los tres tramos, pero a nosotros, debido a la absorción atmosférica no nos llega prácticamente nada de UVC.

Además se genera en fuentes artificiales (paso de corriente eléctrica a través de mercurio vaporizado, lámparas de gases, flaxes, arcos de soldadura,...).

De igual forma, los tubos fluorescentes de luz blanca emiten una pequeña cantidad de UV, que contribuye a la dosis anual UV de los trabajadores.

iii) Aplicaciones.

En primer lugar hemos de recordar que es necesario que recibamos una pequeña cantidad de UV para la producción de vitamina D3 en la piel.

UVA: Bronceado de piel y tratamiento de psoriasis.

UVB: Tratamiento de psoriasis y de prurito urémico.

UVC: Se aprovecha su efecto bactericida (esterilización de comida y aire).

Aplicaciones radioterápicas.

iv) Efectos biológicos dañinos.

Los efectos biológicos de UV son básicamente a nivel de ojos y de piel.

a) Efectos probabilistas: Tras exposiciones prolongadas se puede producir pérdida de elasticidad en la piel; incluso existe una cierta probabilidad de inducción de cáncer de piel. Se supone que del orden del 90% de cánceres de piel tienen su origen en la irradiación con UV (UVB en especial).

b) Efectos deterministas:

Piel:

1. Eritema (enrojecimiento): Respuesta fotoquímica de la piel resultado normalmente de sobreexposición a UVB y UVC. El UVA para producir por sí solo eritema debe recibirse a valores muy elevados (más de 10 J/cm^2).

Ojos:

1. Conjuntivitis: UVB y UVC son absorbidos fuertemente por la córnea y la conjuntiva del ojo, causando fotoqueratoconjuntivitis (periodo de latencia usual: 6-12 horas). La conjuntivitis provoca en el individuo la sensación de un cuerpo extraño ó arena en el ojo, pudiendo dar lugar a fotofobia y lacrimo.

Rara vez dará lugar a daño ocular permanente, pero provocará incapacidad visual durante 48 horas.

2. Cataratas: Longitudes de onda mayores de 295 nm (UVA y UVB) pueden transmitirse a través de la córnea, siendo absorbidas por el cristalino. Dependiendo de los niveles de exposición podrían llegar a producirse opacidades transitorias ó permanentes del cristalino.

v) **Dosimetría y equipos de medida.**

La “cantidad” de radiación UV se mide en:

1. Unidades de “irradiancia”(potencia por unidad de superficie; esto es, en W/m^2 ó múltiplos) para exposiciones continuas; o sea, energía depositada por unidad de superficie (dado que se deposita la energía a nivel de la piel) y tiempo; ó,
2. Unidades de “exposición radiante” (energía por unidad de superficie; esto es, J/m^2 ó múltiplos) para exposiciones pulsadas.

Para medir la radiación UV se utilizan en general fototubos (fotomultiplicadores ó detectores de fotodiodos).

También existen dosímetros personales constituidos habitualmente por una pequeña pieza de polisulfuro (obtención de dosis integrada).

vi) **Estándares de seguridad y recomendaciones.**

Distintos organismos han establecido niveles de radiación ultravioleta que no se deberían sobrepasarse durante un cierto tiempo.

Los límites de exposición (LE) establecidos (y corregidos en años sucesivos) por IRPA/INIRC (International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing Radiation Committee) pueden ser descargados del web de ICNIRP: <http://www.icnirp.de>

Table 1. Ultraviolet radiation exposure limits and spectral weighting function. IRPA/INIRC 1988 Revision.

Wavelength* (nm)	EL ($J m^{-2}$)	EL ($mJ cm^{-2}$)	Relative Spectral Effectiveness S_λ	Wavelength* (nm)	EL ($J m^{-2}$)	EL ($mJ cm^{-2}$)	Relative Spectral Effectiveness S_λ
180	2,500	250	0.012	310	2,000	200	0.015
190	1,600	160	0.019	313 ^b	5,000	500	0.006
200	1,000	100	0.030	315	1.0×10^4	1.0×10^3	0.003
205	590	59	0.051	316	1.3×10^4	1.3×10^3	0.0024
210	400	40	0.075	317	1.5×10^4	1.5×10^3	0.0020
215	320	32	0.095	318	1.9×10^4	1.9×10^3	0.0016
220	250	25	0.120	319	2.5×10^4	2.5×10^3	0.0012
225	200	20	0.150	320	2.9×10^4	2.9×10^3	0.0010
230	160	16	0.190	322	4.5×10^4	4.5×10^3	0.00067
235	130	13	0.240	323	5.6×10^4	5.6×10^3	0.00054
240	100	20	0.300	325	6.0×10^4	6.0×10^3	0.00050
245	83	8.3	0.360	328	6.8×10^4	6.8×10^3	0.00044
250	70	7.0	0.430	330	7.3×10^4	7.3×10^3	0.00041
254 ^b	60	6.0	0.500	333	8.1×10^4	8.1×10^3	0.00037
255	58	5.8	0.520	335	8.8×10^4	8.8×10^3	0.00034
260	46	4.6	0.650	340	1.1×10^5	1.1×10^4	0.00028
265	37	3.7	0.810	345	1.3×10^5	1.3×10^4	0.00024
270	30	3.0	1.000	350	1.5×10^5	1.5×10^4	0.00020
275	31	3.1	0.960	355	1.9×10^5	1.9×10^4	0.00016
280 ^b	34	3.4	0.880	360	2.3×10^5	2.3×10^4	0.00013
285	39	3.9	0.770	365 ^b	2.7×10^5	2.7×10^4	0.00011
290	47	4.7	0.640	370	3.2×10^5	3.2×10^4	0.000093
295	56	5.6	0.540	375	3.9×10^5	3.9×10^4	0.000077
297 ^b	65	6.5	0.460	380	4.7×10^5	4.7×10^4	0.000064
300	100	10	0.300	385	5.7×10^5	5.7×10^4	0.000053
303 ^b	250	25	0.190	390	6.8×10^5	6.8×10^4	0.000044
305	500	50	0.060	395	8.3×10^5	8.3×10^4	0.000036
308	1,200	120	0.026	400	1.0×10^6	1.0×10^5	0.000030

* Wavelengths chosen are representative; other values should be interpolated at intermediate wavelengths.
^b Emission lines of a mercury discharge spectrum.

En cualquier caso, para una correcta determinación de los riesgos originados debe estudiarse: longitudes de onda presentes, irradiancia ó exposición radiante, duración de las exposiciones, características de las posibles superficies reflectoras,...

Cuando se requiera reducir la exposición a radiación UV (superación de LE), se empleará la protección adecuada (ocular y de piel), y se reducirá al mínimo el tiempo

de exposición, aumentando en lo posible la distancia a la fuente. Se controlará la salida de radiación de las zonas de trabajo.

Es muy importante la formación del trabajador respecto al empleo y riesgos de equipos emisores de radiación UV.

5.2. Radiación infrarroja (IR) y visible.

i) Localización.

Visible: Longitudes de onda entre 400 y 780 nm.

Infrarrojo: Desde los 780 nm (limitando con visible rojo) hasta 1000 micras (limitando con las microondas). Se suele dividir en:

- IRA, el más cercano al visible: Entre los 780 y los 1400 nm.
- IRB, intermedio: Entre 1,4 micras y 3 micras.
- IRC, el más alejado del visible: De 3 a 1000 micras.

ii) Generación. Fuentes.

Visible: La fuente principal es el Sol, pero también disponemos de múltiples fuentes artificiales de luz de sobra conocidas (bombillas, fluorescentes, lámparas de diversos tipos,...).

Infrarrojo: Todos los cuerpos a temperatura superior al cero absoluto emiten radiación IR. La cantidad y longitud de onda emitida depende de la temperatura y la composición del objeto.

La principal fuente de radiación IR es el Sol (59% de emisión solar).

Se obtienen también con fuentes artificiales no luminosas (resistencia eléctrica sobre superficie cerámica), ó luminosas (filamento de tungsteno en ampolla de cristal conteniendo gas inerte a baja presión).

iii) Aplicaciones.

Visible: Básicamente iluminación (pero también fototerapia,...).

Infrarrojo: Todas aquellas en que se desee transmitir calor a la piel ó al interior por conducción. En particular a nivel médico terapéutico para artritis reumatoide, artrosis, inflamaciones, dolores irritativos, medicina deportiva,...

Obtención de imágenes termográficas.

iv) Efectos biológicos.

Tanto en el visible como especialmente en el caso de IR, se produce deposición de calor. En IR se produce deposición de energía en el primer centímetro de la piel, siguiendo una ley exponencial negativa. Son más penetrantes cuanto más energéticos sean.

Los efectos biológicos (beneficiosos y dañinos) son los derivados de la deposición de calor a nivel superficial: eritema, quemaduras, problemas en retina,...

Al menos existen cinco tipos de daños a los ojos y la piel provocados por la radiación visible e infrarroja:

- a) Daño térmico a la retina (380 nm-1400 nm)
- b) Daño fotoquímico “luz-azul” a la retina (básicamente 380 nm – 550 nm)
- c) Daño térmico al cristalino provocado por el infrarrojo cercano (800 – 3000 nm)
- d) Quemaduras en piel (380 nm – 1 mm) y córnea (1400 nm – 1 mm)
- e) Daños a piel fotosensibilizada (p. e. tras la ingestión de ciertas moléculas fotosensibilizantes en la comida o medicinas).

v) Dosimetría y equipos de medida.

Iguales unidades de medida que para radiación UV.

Para medir la radiación IR puede utilizarse calorímetros, y convertir el valor obtenido a unidades de irradiancia. Para la luz visible, uso de fotómetros.

vi) Estándares de seguridad y recomendaciones.

En el documento "Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0,38 to 3 μm)" (ICNIRP, 1997) se recogen los distintos límites de exposición por separado según el efecto considerado de la lista del apartado iv) anterior.

vii) Recomendaciones.

Similares recomendaciones que para la radiación UV.

5.3. LÁSER. (Light Amplification by Stimulated Emisión of Radiation)

i) Localización.

Existen Láser de IR, UV y visible.

P. e. El láser de Argon emite en la zona del verde; el láser de He-Ne emite en rojo; el láser Neodimio-YAG emite en infrarrojo cercano, algunos láseres quirúrgicos emiten en UV.

ii) Propiedades.

En principio la radiación emitida por un cierto láser presenta las características correspondientes al tramo de espectro en que trabaje (UV, visible ó IR).

Lo que hace distinto a la radiación láser son tres propiedades básicas:

1. *Monocromaticidad:* Es capaz de emitir en rango muy estrecho de frecuencias.
2. *Coherencia:* Todos los frentes de onda están en fase.
3. *Direccionalidad:* Esto es, muy escasa divergencia.

Otras características útiles son la posibilidad de utilizar fibras ópticas para su transmisión o lentes y espejos para su focalización ó barrido.

Ello implica que puede utilizarse a altas intensidades (deponiendo grandes cantidades de energía en muy poco tiempo) y que, al no ser divergente, **SEPARARSE DE LA FUENTE NO SUPONE REBAJAR APRECIABLEMENTE LA DOSIS.**

Son parámetros básicos (1) en el funcionamiento de un equipo láser, y por tanto, a conocer para saber acerca de los riesgos que implique su uso:

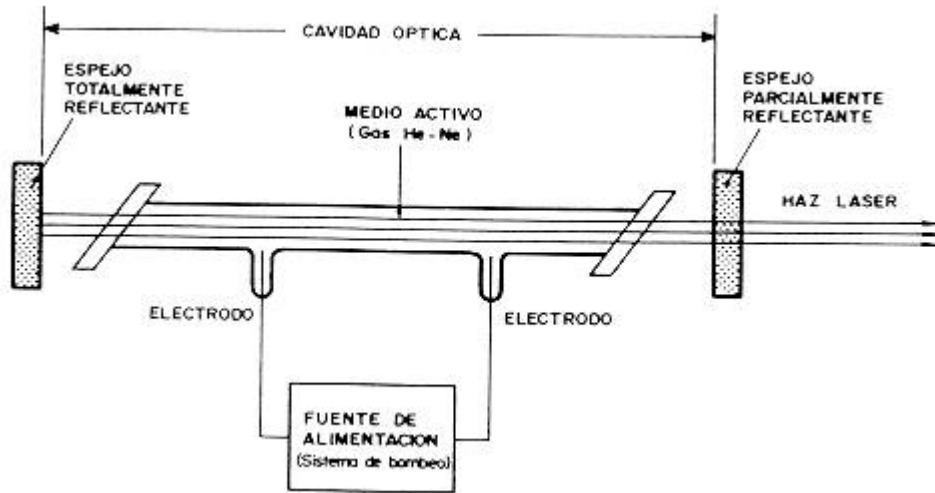
- la frecuencia de trabajo (ó longitud de onda),
- duración de la emisión,
- su carácter continuo ($t > 0,25$ s) o pulsado ($t < 0,25$ s),
- la potencia de emisión (puede ser desde microwatios a Kilowatios),
- y su grado de dispersión angular.

iii) Generación.

Un láser consta de un medio activo (cuya composición determina la longitud de onda de la emisión), un sistema de bombeo (para elevar los electrones a niveles energéticos superiores; se puede hacer por medios ópticos –fuente luminosa como en láser de rubí-, medios eléctricos –corriente eléctrica como en láser He-Ne-, ó medios químicos –energía liberada en creación y ruptura de enlaces químicos como en láser Fluor-Hidrógeno-) y una cavidad resonante (dos espejos paralelos uno en cada extremo del medio activo, para provocar amplificación).

De acuerdo con su nombre (siglas en inglés), el láser es emisión estimulada de radiación. Básicamente el proceso consiste en lo siguiente: al interaccionar con un átomo excitado un fotón cuya energía es idéntica a la que éste átomo emitiría al desexcitarse espontáneamente, se induce de forma inmediata la desexcitación, y de esta forma la emisión de un fotón idéntico al primero en frecuencia, fase y dirección.

La radiación así generada se amplifica por reflexiones sucesivas en los espejos situados en los extremos de una cavidad resonante.



iv) Aplicaciones.

Las aplicaciones del láser son múltiples: desde lectores de CD, pasando por punteros láser, aplicaciones en fusión nuclear, comunicaciones, ó Medicina (Cirugía, Dermatología, Fisioterapia, Oftalmología,...).

v) Efectos biológicos dañinos.

Las lesiones producidas por el láser proceden bien de su efecto térmico, bien de su efecto termoquímico. El grado de contribución de cada mecanismo a una lesión dada depende de los parámetros de funcionamiento descritos en (1), y también de las características propias de cada tejido (capacidad de absorción, presencia de pigmentos fotosensibles, vascularización,...).

EFFECTOS DAÑINOS DEL LÁSER

REGIÓN ESPECTRAL	OJO	PIEL
UV-C	Fotoqueratitis	Eritema. Envejecimiento de piel
UV-B	Fotoqueratitis	Aumento de pigmentación
UV-A	Catarata fotoquímica	Oscurecimiento de pigmentos
VISIBLE	Lesiones en retina fotoquímicas y térmicas	Reacciones fotosensibles
IR-A	Catarata, quemadura en retina	Quemaduras
IR-B	Visión borrosa, catarata, quemadura en córnea	Quemaduras
IR-C	Quemadura en córnea	Quemaduras

Estos efectos aparecen cuando se sobrepasan los llamados valores de exposiciones máximas permisibles (EMP), definidos como los niveles de exposición a los que, en circunstancias normales, pueden exponerse las personas sin sufrir efectos adversos.

vi) Dosimetría.

Pueden emplearse las mismas unidades que las del tramo del espectro que corresponda.

vii) Otros riesgos.

1. Contaminación atmosférica.- Producida por el material vaporizado por el láser, o gases procedentes del sistema generador del láser.
2. Riesgos eléctricos.- Los equipos láser suelen funcionar a alto voltaje.
3. Quemaduras por manipulación de líquidos criogénicos empleados en la refrigeración del láser.
4. Explosiones o incendios al incidir la luz láser sobre materiales explosivos o inflamables.

viii) Clasificación de los láseres.

De acuerdo con normativas y reglamentaciones internacionales, y en particular las normativas comunitarias EN60825 y EN60601-2-22, los láseres se clasifican en cuatro grupos; a saber:

- Láser clase I. Seguros intrínsecamente por su mismo diseño. Esto es, la EMP no se sobrepasa en ningún caso.
- Láser clase II. Dispositivos de baja potencia (en caso continuo $< 1 \text{ mW}$) que emiten en visible funcionando en continuo ó pulsado, y para los que no se sobrepasa EMP en exposiciones de hasta 0,25 s. En ellos se consigue la protección ocular por reflejos de aversión palpebral.
- Láser clase IIIA. Para caso continuo láser con potencia $1 \text{ mW} < P < 5 \text{ mW}$. Pueden producir daños en visión directa del láser con ayuda de instrumentos ópticos.
- Láser clase IIIB. Emiten radiación visible ó invisible y producen daños en visión directa. La observación del láser pulsado desenfocado por reflexión difusa no es peligrosa. El límite superior de estos láseres está en 500 mW (caso continuo) y en 105 J/m^2 (caso láser pulsado)
- Láser clase IV. Dispositivos de gran potencia, capaces de producir incluso reflexiones difusas peligrosas. Pueden causar lesiones cutáneas y incluso peligro de incendio.

Los láseres empleados en la vida cotidiana suelen encuadrarse en las clases I y II. Los empleados en Medicina (de CO_2 , Argon,...) suelen ser de la clase IV.

ix) EMP's y recomendaciones.

Los más recientes EMP (Octubre2000) están recogidos en la Guía ICNIRP "Revisión of Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 400 nm and 1,4 microm":

Table 4. Laser exposure limits for the eye.

Wavelength λ (nm)	Exposure duration t (s)	Exposure limit EL (J/cm ² or W/cm ²)	Exposure limit EL (J/m ² or W/m ²)	Restrictions
Ultraviolet				
<i>Dual limits for 180–600 nm ultraviolet laser exposures at $t > 1$ ns:</i>				
Photochemical				
180 to 302	1 ns to 30 ks	3 mJ/cm ²	30 J/m ²	Aperture sizes: 1 mm for $t < 0.3$ s 1.5 $t^{0.75}$ mm for 0.3 s $< t < 10$ s 3.5 mm for $t > 10$ s
303	1 ns to 30 ks	4 mJ/cm ²	40 J/m ²	
304	1 ns to 30 ks	6 mJ/cm ²	60 J/m ²	
305	1 ns to 30 ks	10 mJ/cm ²	100 J/m ²	
306	1 ns to 30 ks	16 mJ/cm ²	160 J/m ²	
307	1 ns to 30 ks	25 mJ/cm ²	250 J/m ²	
308	1 ns to 30 ks	40 mJ/cm ²	400 J/m ²	
309	1 ns to 30 ks	63 mJ/cm ²	630 J/m ²	
310	1 ns to 30 ks	0.1 J/cm ²	1.0 kJ/m ²	
311	1 ns to 30 ks	0.16 J/cm ²	1.6 kJ/m ²	
312	1 ns to 30 ks	0.25 J/cm ²	2.5 kJ/m ²	
313	1 ns to 30 ks	0.40 J/cm ²	4 kJ/m ²	
314	1 ns to 30 ks	0.63 J/cm ²	6.3 kJ/m ²	
315 to 400	10 s to 30 ks	1.0 J/cm ²	10 kJ/m ²	
Thermal				
180 to 400	1 ns to 10 s	0.56 $t^{0.25}$ J/cm ²	5.6 $t^{0.25}$ kJ/m ²	
Visible				
400 to 700	100 fs to 10 ps	0.015 C_E μ J/cm ²	0.15 C_E mJ/m ²	(all for 7-mm limiting aperture)
400 to 700	10 ps to 1 ns	2.7 $C_E t^{0.75}$ J/cm ²	27 $C_E t^{0.75}$ kJ/m ²	
400 to 700	1 ns to 18 μ s	0.5 C_E μ J/cm ²	5 C_E mJ/m ²	
400 to 700	18 μ s to 10 s	1.8 $C_E t^{0.75}$ mJ/cm ²	18 $C_E t^{0.75}$ J/m ²	
<i>Dual limits for 400–600 nm visible laser exposures at $t > 10$ s</i>				
Photochemical ^a				
400 to 600	10 s to 100 s	10 C_B mJ/cm ²	100 C_B J/m ²	for $\alpha < 11$ mrad ($\gamma = 11$ mrad ²)
400 to 600	100 s to 30 ks	0.1 C_B mW/cm ²	1 C_B W/m ²	for $\alpha < 11$ mrad
400 to 600	100 s to 10 ks	0.1 C_B mW/cm ²	1 C_B W/m ²	for $\alpha > 11$ mrad ($\gamma = 1.1 t^{0.5}$ mrad)
400 to 600	10 ks to 30 ks	10 C_B mW/(cm ² sr)	100 C_B W/(m ² sr)	(See Note ^a)
Thermal ^a				
400 to 700	10 s to 30 ks	1.0 mW/cm ²	10 W/m ²	for $\alpha < 1.5$ mrad
400 to 700	10 s to T_1 s	1.8 $C_E T_1^{-0.75}$ mJ/cm ²	18 $C_E T_1^{-0.75}$ J/m ²	for $\alpha > 1.5$ mrad
400 to 700	T_2 s to 30 ks	1.8 $C_E T_2^{-0.25}$ mW/cm ²	18 $C_E T_2^{-0.25}$ W/m ²	for $\alpha > 1.5$ mrad
Near Infrared, IR-A				
700 to 1,050	100 fs to 10 ps	0.015 $C_A C_E$ μ J/cm ²	0.15 $C_A C_E$ mJ/m ²	7 mm limiting aperture
700 to 1,050	10 ps to 1 ns	2.7 $C_A C_E t^{0.75}$ μ J/cm ²	27 $C_A C_E t^{0.75}$ mJ/m ²	
700 to 1,050	1 ns to 18 μ s	0.5 $C_A C_E$ μ J/cm ²	5 $C_A C_E$ mJ/m ²	
700 to 1,050	18 μ s to 10 s	1.8 $C_A C_E t^{0.75}$ mJ/cm ²	18 $C_A C_E t^{0.75}$ J/m ²	
1,051 to 1,400	100 fs to 10 ps	0.15 $C_C C_E$ μ J/cm ²	1.5 $C_C C_E$ mJ/m ²	
1,051 to 1,400	10 ps to 1 ns	27 $C_C C_E t^{0.75}$ J/cm ²	270 $C_C C_E t^{0.75}$ kJ/m ²	
1,051 to 1,400	1 ns to 50 μ s	5 $C_C C_E$ μ J/cm ²	50 $C_C C_E$ mJ/m ²	
1,051 to 1,400	50 μ s to 10 s	9.0 $C_C C_E t^{0.75}$ mJ/cm ²	90 $C_C C_E t^{0.75}$ J/m ²	
700 to 1,400	10 s to 30 ks	1.0 $C_A C_C$ mW/cm ²	10 $C_A C_C$ W/m ²	
700 to 1,400	10 s to T_1 s	1.8 $C_A C_C C_E t^{0.75}$ mJ/cm ²	18 $C_A C_C C_E t^{0.75}$ J/m ²	
700 to 1,400	T_2 s to 30 ks	1.8 $C_A C_C C_E T_2^{-0.25}$ mW/cm ²	18 $C_A C_C C_E T_2^{-0.25}$ W/m ²	
			NTE ^b 100 mW/cm ²	
Far Infrared				
1,400 to 1,500 nm	1 ns to 1 ms	0.1 J/cm ²	1 kJ/m ²	Aperture sizes: 1 mm for $t < 0.3$ s 1.5 $t^{0.75}$ mm for 0.3 s $< t < 10$ s 3.5 mm for $t > 10$ s
1,400 to 1,500 nm	1 ms to 10 s	0.56 $t^{0.25}$ J/cm ²	5.6 $t^{0.25}$ kJ/m ²	
1,500 to 1,800 nm	1 ns to 10 s	1.0 J/cm ²	10 kJ/m ²	
1,801 to 2,600 nm	1 ns to 1 ms	0.1 J/cm ²	1 kJ/m ²	
1,801 to 2,600 nm	1 ms to 10 s	0.56 $t^{0.25}$ J/cm ²	5.6 $t^{0.25}$ kJ/m ²	
2,601 nm to 1 mm	1 ns to 100 ns	10 mJ/cm ²	100 J/m ²	
2,601 nm to 1 mm	100 ns to 10 s	0.56 $t^{0.25}$ J/cm ²	56 $t^{0.25}$ kJ/m ²	
1,400 nm to 1 mm	10 s to 30 ks	100 mW/cm ²	1 kW/m ²	

^a For small sources subtending an angle of 1.5 mrad or less, the visible dual limit ELs from 400 nm to 600 nm, for times greater than 10 s, reduce to the thermal limits for times less than T_1 and to photochemical limits for longer times. $T_1 = 10$ s for $\lambda < 450$ nm; $T_1 = 10 \times 10^{0.02(\lambda - 450)}$ for $450 \text{ nm} < \lambda < 500$ nm; and $T_1 = 100$ s for $\lambda > 500$ nm. The photochemical retinal hazard limit may also be expressed as an integrated radiance $L = 100 C_B$ J/(cm² sr); T_2 see Table 5.

^b NTE = Not to exceed; see Table 5 for definitions of constants.

Table 5. Laser exposure limits for the skin.^{ab}

Wavelength λ (nm)	Exposure duration t (s)	Exposure limit EL (J/cm ² or W/cm ²)	Exposure limit EL (J/m ² or W/m ²)	Restrictions
Ultraviolet				
180 to 400	1 ns to 30 ks	Same as Eye EL		
Visible and IR-A				
400 nm to 1,400 nm	1 ns to 100 ns	20 C_A mJ/cm ²	200 C_A J/m ²	3.5 mm limiting aperture
400 nm to 1,400 nm	100 ns to 10 s	1.1 $C_A t^{0.25}$ J/cm ²	11 $C_A t^{0.25}$ kJ/m ²	
400 nm to 1,400 nm	10 s to 30 ks	0.2 C_A W/cm ²	2 C_A kW/m ²	
Far infrared				
1,400 nm to 1 mm	1 ns to 30 ks	Same as Eye EL for 1,400 nm to 1 mm		3.5 mm limiting aperture

^a Notes for all EL tables: Angles: All values of α and γ in milliradians (mrad). Wavelength: All values of wavelength (λ) in nanometers (nm). Time: All values of t in s; 1 ks = 1,000 s, and 30 ks = 8 h.

1. Spectral Correction Factors: $C_A = 1$ for $\lambda = 400$ to 700 nm; $C_A = 10^{0.002(\lambda-700)}$ if $\lambda = 700 - 1,050$ nm; $C_A = 5.0$ if $\lambda = 1,051-1,400$ nm; $C_B = 1$ for 400 nm $< \lambda \leq 450$ nm; $C_B = 10^{0.02(\lambda-450)}$ if $\lambda = 400-700$ nm; $T_2 = 10 [10^{(\alpha-1.5)/98.5}]$ s; for 1.5 mrad $< \alpha < 100$ mrad; $T_2 = 10$ s for $\alpha < 1.5$ mrad and $T_2 = 100$ s if $\alpha > 100$ mrad; $C_C = 1$ for $\lambda \leq 1,150$; $C_C = 10^{0.018(\lambda-1,150)}$ for 1,150 $< \lambda < 1,200$; $C_C = 8$ for 1,200 $\leq \lambda < 1,400$.

2. Angular subtense α of a source and limiting cone angle measuring field-of-view γ : α_{min} is 1.5 mrad for all thermal retinal hazard exposure limits. $\gamma = 11$ mrad for $t \leq 100$ s, $\gamma = 1.1 t^{0.5}$ mrad for 100 s $< t < 10,000$ s, and $\gamma = 110$ mrad for $t > 10^4$ s. $T_2 = 10 [10^{(\alpha-1.5)/98.5}]$ such that $T_2 = 10$ s for $\alpha < 1.5$ mrad and 100 s if $\alpha > 100$ mrad.

3. Extended Source ELs: For extended-source viewing of laser radiation (e.g., diffuse reflection) between 400 nm and 1,400 nm, the thermal ELs include the correction factor C_E provided that the angular subtense of the source (measured at the viewer's eye) is greater than α_{min} , where α_{min} is:

$$\alpha_{min} = 1.5 \text{ mrad for all thermal limits}$$

$$C_E = 1.0 \text{ for } \alpha < \alpha_{min}$$

$$C_E = \alpha/\alpha_{min} \text{ for } \alpha_{min} < \alpha < 100 \text{ mrad.}$$

$$C_E = \alpha^2/(\alpha_{min} \times \alpha_{max}) \text{ for } \alpha > 100 \text{ mrad where } \alpha_{max} = 100 \text{ mrad.}$$

The angle of 100 mrad may also be referred to as α_{max} at which point the extended source limits can be expressed as a constant radiance using the last equation written in terms of α_{max} :

$$L_{EL} = (8.5 \times 10^3) (EL_{pt, source}) J/(cm^2 sr) \text{ for } t < 10 \text{ s.}$$

$$L_{EL} = 100 C_B J/(cm^2 sr) \text{ for } t > 1 \text{ s}$$

^b For retinal photochemical limits, where the radiance is measured over a cone angle of acceptance (field-of-view) γ which increases from 11 mrad for times less than 100 s to 110 mrad for times greater than 10 ks.

4. Terminology: The term Exposure Limit (EL) is used by ICNIRP. The same values are termed MPEs (Maximum Permissible Exposure Limits) by ANSI and IEC, and termed TLVs (Threshold Limit Values) by ACGIH. Essentially all groups have the same limit values.

En lo que se refiere a recomendaciones, recogemos la legislación de ámbito comunitario ya referida antes:

- Los láseres III, IV sólo pueden usarse en áreas controladas. Los accesos a estas áreas deberán estar controlados y señalizados. Además a estas áreas se deberá acceder con la protección ocular y ropa adecuados. Tendrán asimismo que disponer de desconexiones automáticas por apertura de puerta. Se evitará la salida de luz láser al exterior del área.
- Es obligatorio el etiquetado de los equipos láser, en el que deberá constar: la clase, potencia máxima, duración del impulso, longitud de onda de emisión, aparte de la señal propia de equipo láser.



- Los láser III y IV dispondrán de aviso audible ó visible durante el disparo.
- Para clases superiores a IIIA, existirá un supervisor responsable de seguridad láser, el personal que los utilice estará formado, existirá llave de seguridad, y materiales de protección ocular y ropa adecuada.
- Otros riesgos a considerar pueden ser el de contaminación atmosférica (por vaporización de material) y el de incendio, para los que se proveerá de los oportunos sistemas de ventilación y seguridad.

5.4. Microondas y RF.

i) Localización.

Zona del espectro desde 1 Hz hasta la frecuencia del infrarrojo más lejano. En particular las microondas quedarían entre 1 GHz y 300 GHz, y las Radiofrecuencias (y extremadamente bajas frecuencias) tendrían frecuencias inferiores a 1 GHz.

No ionizante						Ionizante			
hf < 12,4 eV						hf < 12,4 eV			
Subradio frecuencias	Radio frecuencias	Microondas	Infrarrojos	Luz visible	Ultravioletas no ionizantes	Ultravioletas ionizantes	Rayos X	Rayos γ	Rayos cósmicos
0	30 kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3 Phz	30 PHz	3 EHz	>3000 EHz
30 kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3000 THz	30 PHz	300 EHz	3000 EHz	
∞	100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	100 pm	< 0,1 pm
100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	1 pm	0,1 pm	

N	Banda	f	λ	Aplicaciones
11	EHF Extremely high frequencies	300 GHz	1 mm	Comunicaciones diversas. Radar de navegación.
10	SHF Super high frequencies	30 GHz	10 mm	Radar, radio, satélite. Usos industriales. Fisioterapia.
9	UHF Ultra high frequencies	3 GHz	100 mm	Horno microondas. Usos industriales y médicos. Fisioterapia. TV.
8	VHF Very high frequencies	300 MHz	1 m	Radio FM, TV.
7	HF High frequencies	30 MHz	10 m	Soldadura plásticos. Diatermia. Radio OC.
6	MF Medium frequencies	3 MHz	100 m	Radio AM.
5	LF Low frequencies	300 kHz	1 Km	Calentamiento por inducción.
—	ELF Extremely low frequencies	30 KHz	10 Km	Ultrasonidos. Técnicas de audio. Transporte energía eléctrica.
		0 Hz	∞	

N determina la anchura de cada banda entre $0,3 \cdot 10^N - 3 \cdot 10^N$ Hz (Internacional Telecommunication Union - ITU)

ii) Generación.

La radiación de microondas se genera en un magnetrón.

Las radiofrecuencias se pueden generar mediante transistores y circuitos integrados utilizando antenas para su propagación.

Además aparecen radiofrecuencias de muy baja frecuencia (50 Hz en Europa, 60 Hz en Estados Unidos) como consecuencia directa del funcionamiento de los equipos eléctricos instalados a la red convencional.

iii) Aplicaciones.

En el caso de las microondas su principal aplicación es que sirven como método de calentamiento profundo (diatermia). También se utilizan en comunicaciones (telefonía móvil por ejemplo).

Las radiofrecuencias tienen su principal aplicación en el campo de las telecomunicaciones, aunque se aplican en otras situaciones como por ejemplo en Resonancia Magnética Nuclear.

A nivel medio también se emplean para generar corrientes en el interior del cuerpo con objetivos terapéuticos.

iv) Efectos biológicos.

Básicamente dependiendo de la zona espectral provocan deposición energética más ó menos profunda ó débiles corrientes eléctricas.

Bandas establecidas según las características de absorción	Frecuencia MHz	Profundidad de penetración (cm)	
		Músculos, piel y tejidos con alto contenido en agua	Grasa, huesos y tejidos con bajo contenido en agua
Banda de subresonancias $f < 30$ MHz Domina la absorción superficial en el cuerpo pero no en cuello y piernas. La absorción decrece rápidamente con la frecuencia.	1	91,30	-
	10	21,60	-
	27,12	14,30	159,00
Banda de resonancias $30 \text{ MHz} < f < 400$ MHz La absorción es alta debido a resonancias del cuerpo entero (≈ 70 MHz), o parciales como la cabeza (≈ 400 MHz)	40,68	11,20	118,00
	100	6,66	60,40
	200	4,79	39,20
	300	3,89	32,10
Banda de puntos calientes $400 \text{ MHz} < f < 2000$ MHz Se produce absorción localizada por resonancias o por enfoque quasi-óptico del campo electromagnético incidente. El tamaño de los calientes varía entre 1 y varios cm.	433	3,57	26,20
	750	3,18	23,00
	915	3,04	17,70
	1500	2,42	13,90
Banda de absorción superficial $2 \text{ GHz} < f < 300$ GHz La energía se disipa en la superficie del cuerpo de forma similar a las radiaciones infrarrojas.	2450	1,70	11,20
	3000	1,61	9,74
	5000	2,78	6,67
	5300	0,72	5,24
	8000	0,41	4,61
	10000	0,34	3,39

Radiaciones particularmente intensas pueden provocar efectos nocivos del tipo: alteraciones en comportamiento de sujetos experimentales, hipertermia leve o severa, alteraciones en el desarrollo embrionario, cataratas y quemaduras superficiales o profundas.

Si el incremento de la temperatura corporal es inferior a 1°C la sangre circulante es capaz, en general, de disipar el exceso de calor. Sin embargo, en zonas poco vascularizadas, tales como el interior del ojo, pueden ocurrir daños irreversibles.

No está probado en ningún caso la relación radiofrecuencias – cáncer (hay investigaciones abiertas en torno a temas como melatonina (posible efecto cocarcinogénico por vía hormonal), puesto que no hay aparentemente ninguna justificación de tipo interacción directa de radiofrecuencias con ADN que pueda justificar las mutaciones.

A nivel europeo hay un proyecto en marcha denominado EMF cuyo objetivo es estudiar los posibles efectos biológicos de este tramo del espectro. Existen otros proyectos a nivel internacional.

Por otra parte esta radiación puede provocar interferencias que afecten de forma indirecta a algún ser humano de forma peligrosa: interferencia con monitores en Hospitales, con marcapasos,...

Los datos más actualizados, en español, acerca de los efectos biológicos de las microondas y radiofrecuencias pueden encontrarse en el Informe Técnico “Campos Electromagnéticos y Salud Pública” elaborado recientemente (2001) por un Comité de Expertos reunidos por el Ministerio de Sanidad que puede ser descargado de

<http://www.msc.es/salud/ambiental/ondas/camposelectromag.htm>

Otros informes muy actualizados pueden encontrarse en castellano en:

<http://www.ondasysalud.com>

<http://www.mcw.edu/gcrc/cop.html>

v) **Dosimetría.**

Las magnitudes y unidades utilizadas para cuantificar las radiofrecuencias y microondas varían según el tramo espectral. Así, siguiendo el Anexo II del Real Decreto 1066/2001, se utilizan:

1. Corriente de contacto (A; su unidad el Amperio)), densidad de corriente (J; medida en A/m^2) e intensidad de campo eléctrico (E; en V/m) para campos eléctricos y corrientes eléctricas generadas.
2. Intensidad de campo magnético (H; medida en A/m) y densidad de flujo magnético (B; medida en Teslas), en el caso de campos magnéticos.
3. A frecuencias muy altas (profundidad en el cuerpo pequeña), la densidad de potencia (S) medida en W/m^2 .
4. Para las limitaciones a los efectos no térmicos de la radiación de microondas pulsátil, la absorción específica de energía (SA) expresada en J/Kg.
5. Para las limitaciones a efectos térmicos en general debidos a emisiones radioeléctricas, el índice de absorción específica de energía (SAR), medida en W/Kg.

vi) **Límites de exposición.**

Los “límites” más actuales son los de la ICNIRP Guidelines (1998), y se escriben en términos de niveles de referencia (NR) y restricciones básicas (RB).

(ver “Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)” ICNIRP (1998), descargable de www.icnirp.de)

Estos valores son los utilizados en la Recomendación de la Comisión Europea acerca del tema y Real Decreto 1066/2001 publicado en nuestro país. Se trata de limitaciones de exposición al público aunque por extensión, y dado que en la legislación no se distingue “público” de “profesional” en este ámbito, podríamos aplicarlas también a la exposición profesional.

Las RB son restricciones a los niveles de exposición basadas en efectos sobre la salud bien establecidos. Para asegurar protección contra tales efectos, los valores no deben ser sobrepasados. Se han calculado dividiendo por 10 el valor de exposición que daría lugar a una elevación corporal de 1°C.

Los NR se basan en las RB y se han obtenido a partir de modelos matemáticos. Las NR se proporcionan para ser comparados con los valores medidos en el ambiente. Aquellas condiciones que no sobrepasen los niveles de referencia cumplirán con seguridad las restricciones básicas.

Restricciones básicas para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz)

Gama de frecuencia	Intensidad magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) rms	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR Localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR Localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz	—	8/f	—	—	—	—
4-1.000Hz	—	2	—	—	—	—
1.000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz, valores rms imperturbados)

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	$0,73/f$	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Para la interpretación precisa de las tablas, acudir a las notas adjuntas a las mismas en el RD 1066/2001.

vii) Recomendaciones.

Aún no teniendo constancia de efectos más allá de los térmicos, y desconociendo si en el futuro se pudiera concluir algo en esta dirección, es claro que conviene reducir al mínimo la exposición a radiofrecuencias.

Dado que los focos pueden considerarse puntuales, la exposición obedecerá al inverso del cuadrado de la distancia. Por tanto la primera recomendación sería estar lo más lejos posible de la fuente de emisión. Previamente deberían establecerse zonas de seguridad (de acceso prohibido, ó acceso limitado en el tiempo) para asegurar que se cumplen los límites antedichos.

Minimizar el tiempo sería una segunda recomendación.

Y como en el caso de las radiaciones ionizantes, una tercera sería incorporar “blindajes” contra estas radiaciones. En este caso los “blindajes” son del tipo “jaula de Faraday” (enrejados con tamaño de matriz definida según la frecuencia de emisión, láminas de cobre,...).

Y por supuesto y en todo caso, evitar crear interferencias entre equipamientos (separar suficientemente unos equipos de otros) que pudieran dar lugar a problemas adicionales, para lo cual siempre será importante consultar los manuales de funcionamiento y que el personal esté adecuadamente formado.

1.5. Páginas web de interés respecto a Radiaciones No Ionizantes.

- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
[en particular Guía de Límites para Radiación < 300 GHz]
<http://www.icnirp.de/>
- O. Mundial de la Salud
EMF Program Rapid
[Estudios efectos biológicos de Radiofrecuencias]
<http://www.who.int/peh-emf>
<http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>
- Comisión Europea
[Directivas Europeas – todos los temas-]
<http://www.europa.eu.int/>
- Ministerio de Ciencia y Tecnología
<http://www.mcyt.es>
- National Radiation Protection Board
<http://www.nrp.org.uk/>
- Informe Ministerio de Sanidad
Y Consumo -Real Decreto 1066/2001
<http://www.msc.es/salud/ambiental/ondas/camposelectromag.htm>
- Medical College of Wisconsin
<http://www.mcw.edu/gcrc/cop.html>
- Notas Técnicas del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
http://www.mtas.es/insht/information/lnd_temntp.htm
- Ecosistema sobre el impacto de las ondas electromagnéticas sobre la salud
<http://www.ondasysalud.com>

ANEXO I.
CLASIFICACIÓN Y VIGILANCIA DE ZONAS Y PERSONAL DE ACUERDO AL
REGLAMENTO DE PROTECCIÓN SANITARIA CONTRA LAS RADIACIONES
IONIZANTES

CLASIFICACION Y DELIMITACION DE ZONAS

<p>ZONA VIGILADA</p>	<p>RD 53/1992: Aquella en que: ⇒ No es improbable recibir más de 1/10 de límites (p. ejemplo más 5 mSv/año de dosis efectiva) , ⇒ Pero es improbable recibir más de 3/10 de límites</p> <hr/> <p>⇒ RD 783/2001: Aquella en que: No es zona controlada, pero Existe posibilidad de recibir dosis efectivas mayores de 1 mSv/año, o dosis equivalentes mayores de 1/10 de límites para cristalino, piel o extremidades.</p>
<p>ZONA CONTROLADA</p>	<p>RD 53/1992: Aquella en que no es improbable recibir más de 3/10 de límites (p. ejemplo más 15 mSv/año de dosis efectiva); subdividida en: ⇒ CONTROLADA: Es improbable recibir dosis superior a límites. ⇒ PERMANENCIA LIMITADA: En ella existe riesgo de recibir dosis superior a límites. ⇒ ACCESO PROHIBIDO: En ella existe riesgo de recibir dosis superiores a límites en una sola exposición.</p> <hr/> <p>RD 783/2001: Aquella en que: • Existe posibilidad de recibir dosis efectivas mayores de 6 mSv/año, o dosis equivalentes mayores de 3/10 de límites para cristalino, piel o extremidades; ó, • Es necesario seguir procedimientos para restringir la exposición, evitar la contaminación radiactiva o limitar la magnitud de accidentes radiológicos. Subdividida en: ⇒ CONTROLADA: Es improbable recibir dosis superior a límites. ⇒ PERMANENCIA LIMITADA: En ella existe riesgo de recibir dosis superior a límites. ⇒ PERMANENCIA REGLAMENTADA: En ella existe riesgo de recibir dosis superior a límites en cortos periodos de tiempo. ⇒ ACCESO PROHIBIDO En ella existe riesgo de recibir dosis superiores a límites en una sola exposición.</p>

SEÑALIZACIÓN Y REQUISITOS DE ZONAS

SEÑALIZACIÓN

Las zonas con riesgo de exposición se siguen señalizando con un “trébol” de distinto color en función de la zona:

1. *Vigilada:*
Trébol gris azulado.
2. *Controlada*
Trébol verde.
3. *Permanencia limitada*
Trébol amarillo.
4. *Permanencia reglamentada*
Trébol naranja.
5. *Acceso prohibido:*
Trébol rojo.

Como en el derogado RD 53/1992, los tréboles llevan puntas radiales en el caso en que exista riesgo por exposición externa, y campo punteado en el caso de riesgo por contaminación.

El trébol se completará en la parte superior con la leyenda indicativa del tipo de zona, y en la parte inferior con el tipo de riesgo.

Las señales deben situarse de forma bien visible a la entrada de la zona y en los lugares significativos de la misma.

REQUISITOS

- Las zonas deben estar delimitadas y señalizadas adecuadamente.
- Acceso limitado a personas autorizadas al efecto y que hayan recibido instrucciones relativas al riesgo presente.
- En zonas controladas con riesgo de exposición externa es obligatorio el uso de dosímetros personales.
- En zonas controladas con riesgo de contaminación es obligatorio el uso de equipos personales de protección adaptados al riesgo existente, y a su salida deben existir detectores para poder controlar la contaminación.

En las zonas vigiladas debe efectuarse, al menos mediante dosimetría de área, estimaciones de dosis que puedan recibirse.

CLASIFICACIÓN DE LOS TRABAJADORES

DEFINICIÓN	RD 53/1992	RD 783/2001
Mínima edad para ppe	18 años	18 años
Personal Profesionalmente Expuesto (ppe) Categoría B	-Podrían recibir por año más de 1/10 de límites de trabajadores, pero... -Es improbable que reciban por año: *D Efectiva > 15 mSv, ó *Dosis a piel, cristalino o extremidades > 3/10 de límites de RD53/92	-Podrían recibir dosis superiores a algún límite del público, pero... -Es improbable que reciban por año oficial: *D Efectiva > 6 mSv, ó *Dosis a piel, cristalino o extremidades > 3/10 de límites de RD783/01
Personal Profesionalmente Expuesto (ppe) Categoría A	Podrían recibir por año: *D Efectiva > 15 mSv, ó *Dosis a piel, cristalino o extremidades > 3/10 de límites de RD 53/92	Podrían recibir por año oficial: *D Efectiva > 6 mSv, ó *Dosis a piel, cristalino o extremidades > 3/10 de límites de RD783/01

VIGILANCIA DE LA EXPOSICIÓN

VIGILANCIA AMBIENTAL		RD 783/2001
Incluirá medidas de:	1. Tasas de dosis externas.	
	2. Concentración de actividad en aire y contaminación superficial.	

VIGILANCIA INDIVIDUAL		RD 783/2001
Trabajadores Categoría A	Obligatorio: 1. Dosímetro individual (solapa). 2. Dosímetro local si hay riesgo de exposición parcial 3. Medidas si hay riesgo de contaminación interna.	
Trabajadores Categoría B	1. Dosis estimables a partir de medidas ambientales. 2. Posibilidad (casos especiales) de estimar dosis a partir de mediciones individuales de otros trabajadores.	
Superación límites	1. Se realizará estudio-evaluación de dosis recibidas. 2. Vigilancia sanitaria especial (Servicio Prevención).	
Historial dosimétrico	Obligatorio, actualizado y a disposición del trabajador. Debe incluir las dosis: • Categoría A: Mensuales, anuales y acumuladas cada cinco años. • Categoría B: Anuales determinadas o estimadas. El trabajador debe comunicar las dosis recibidas en otros centros.	

VIGILANCIA MÉDICA

*¿quién la
debe
realizar?*

RD 53/1992:

Un Servicio Médico Especializado (SME) con capacidad reconocida por el órgano de la Comunidad Autónoma competente en materia de sanidad.

RD 783/2001:

- Un Servicio de Prevención (constituido según Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y Reglamentos que la desarrollan), óUn SME ya autorizado.

*¿a qué
trabajadores
aplica?*

RD 53/1992:

La vigilancia médica aplica indistintamente a trabajadores expuestos categoría A y categoría B.

RD 783/2001:

Todo lo relativo a la vigilancia médica incluido en el nuevo Reglamento aplica **exclusivamente** a trabajadores expuestos categoría A. En este capítulo del RD 783/2001 ni se nombra a los trabajadores categoría B.

*¿en qué
consiste?*

Tanto en RD 783/2001, como en RD 53/1992:

- Examen de salud previo.
- Exámenes de salud periódicos (anuales mínimo).
- Resultado de los mismos, el trabajador (A o B en 53/1992, sólo tipo A en 783/2001) será declarado:
Apto, Apto con condiciones ó No apto
para el trabajo con radiaciones.

En caso de “superación de límites de dosis” (RD 53/1992), pasa a redactarse “en caso de **superación o sospecha fundada** de superación de límites de dosis” (RD 783/2001), debiéndose realizar en tales circunstancias una **vigilancia sanitaria especial**.