

RESUMEN MANUAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA (Ed. 2)

Unidad Técnica de Protección Radiológica de la Universitat de Barcelona
Centros Científicos y Tecnológicos

Diciembre de 2013

ÍNDICE

- I.- Fuentes de Radiaciones ionizantes habitualmente utilizadas:
 - I.1.- Generadores de rayos X.
 - I.2.- Fuentes radiactivas.
 - II.- Medida de la radiación y sus efectos:
 - II.1.- Dosis absorbida y dosis equivalente.
 - II.2.- Detección y medida.
 - III.- Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes:
 - III.1.- Efectos estocásticos.
 - III.2.- Efectos no estocásticos.
 - IV.- El reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes:
 - IV.1.- Unidad Técnica de Protección Radiológica.
 - V.- Normas básicas de protección y límite de dosis:
 - V.1.- Clasificación del personal
 - V.2.- Límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos
 - V.3.- Protección especial durante el embarazo y la lactancia
 - V.4.- Exposiciones especialmente autorizadas
 - V.5.- Exposiciones excepcionales
 - V.6.- Protección radiológica de la población
 - VI.- Medidas fundamentales de vigilancia para la protección de las personas expuestas:
 - VI.1.- Normas generales de vigilancia.
 - VI.2.- Prevención de la exposición.
 - VI.3.- Determinación y riesgo de las dosis recibidas.
 - VI.4.- Vigilancia médica.
 - VI.5.- Métodos básicos de Protección Radiológica.
 - VI.5.1.- Riesgo de radiación externa.
 - VI.5.2.- Riesgo de contaminación.
 - VII.- Medidas fundamentales de vigilancia para la protección del público.
- ANEXO I: Normas de trabajo en Laboratorios con fuentes encapsuladas.
- ANEXO II: Normas de trabajo en Laboratorios con fuentes no encapsuladas.
- ANEXO III: Equipos de Rayos X para análisis.
- ANEXO IV: Radiodiagnóstico.
- ANEXO V: Almacenamiento y evacuación de residuos contaminados con material radiactivo.
- ANEXO VI: Tratamiento de la contaminación.
- ANEXO VII: Legislación española básica en materia de protección radiológica
- Glosario de términos.

I.- FUENTES DE RADIACIONES IONIZANTES UTILIZADAS HABITUALMENTE.

Se llaman radiaciones ionizantes a aquellas radiaciones compuestas por fotones o partículas, que son capaces de ionizar directa o indirectamente los átomos que encuentran en su recorrido. La radiación ionizante cede suficiente energía a la materia como para liberar algún electrón de los átomos que la forman, entonces se dice que se ha producido un fenómeno de **ionización**. Para que se produzca este fenómeno es necesario que la energía de la radiación sea superior a la energía de enlace de los electrones.

Estas radiaciones se producen de diversas formas, como:

I.1.- Generadores de Rayos X.

Son aparatos alimentados por corriente eléctrica, de funcionamiento discontinuo, en los que la puesta en marcha y la parada dependen de un interruptor. No producen ni almacenan sustancias radiactivas (radiactividad).

Pertencen a este grupo los equipos de radiodiagnóstico, equipos para análisis como son: por difracción, por fluorescencia, por análisis de fotoelectrones (ESCA)...

Los rayos X producidos son haces de fotones (radiación electromagnética), de la misma naturaleza que la luz visible, la ultravioleta, la infrarroja, las ondas de radio, televisión o radar. La única diferencia entre ellas es la longitud y frecuencia de la onda. La energía de los rayos X y su poder de penetración son proporcionales a la tensión eléctrica utilizada para su producción, alrededor de los 100 kV para los rayos X de diagnóstico y entre 15 kV y 50 kV en los equipos para análisis.

I.2.- Fuentes Radiactivas.

Los átomos de algunos elementos emiten radiación de forma continua y autónoma (se desintegran). Si la emisión se produce espontáneamente el fenómeno se conoce como radiactividad natural, como en el Radio 226, el Carbono 14, etc. En el caso de la radiactividad artificial, el átomo se ha convertido en radiactivo al ser bombardeado con partículas (protones, neutrones, etc.) en un reactor nuclear, a este grupo pertenecen el Cobalto 60, el Manganeseo 54 y el Carbono 14 o bien como producto de fisión, como es el Iodo 131, el Ytrio 90 y el Cesio 137.

Los elementos radiactivos se conocen también con el nombre de radionucleidos, isótopos radiactivos y en general se les denomina fuentes radiactivas.

Se caracterizan por:

- a) **La clase de radiación** que emiten: partículas alfa (α), partículas beta (β), radiación gamma, neutrones, etc.
- b) **La energía** de la radiación emitida. La unidad de medida es el electronvoltio (eV) y se utilizan los múltiplos keV (1000 eV) y el MeV (1.000.000 eV). El poder de penetración de la

radiación en la materia (inerte o viva) depende de la clase y de la energía de la misma. Así las partículas α tienen muy poco poder de penetración y pueden ser absorbidas por una hoja de papel, las β necesitan más espesor de material, soliendo bastar con 1 cm de metacrilato. La radiación gamma necesita espesores variables de plomo u hormigón para ser detenidas, dicho espesor depende de la energía y de la atenuación que se desee.

- c) **La actividad**, se define como: el número de desintegraciones producidas en el tiempo de un segundo. La unidad de medida es el **Becquerel (Bq)** que corresponde a una desintegración/segundo. Las fuentes radiactivas encapsuladas de la Universidad de Barcelona tienen actividades que varían desde $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq para una fuente de $^{241}\text{Am-Be}$, pasando por $9 \cdot 10^8$ Bq en las fuentes Mösbauer, $4 \cdot 10^5$ Bq para las fuentes de calibración por estándar externo en los equipos de centelleo líquido, 410^4 Bq para las fuentes de prácticas y finalmente de unos 100 Bq para las fuentes de verificación de algunos monitores de contaminación. En cuanto a las fuentes no encapsuladas, su actividad puede oscilar entre $7 \cdot 10^5$ Bq en determinadas técnicas de marcaje y $1.5 \cdot 10^3$ Bq en determinados patrones de calibración.

El **Curio (Ci)** es una unidad antigua equivalente a $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq.

- d) **El período de semi-desintegración**. La actividad de los elementos radiactivos disminuye con el tiempo, y se llama período de semi-desintegración al tiempo necesario para que el número de átomos radiactivos de un elemento se reduzca a la mitad. El período de semi-desintegración del ^3H es de 12.3 años, el del ^{14}C es de 5600 años, el del ^{32}P es de 14.3 días, el del ^{35}S es de 87 días y el del ^{125}I es de 60 días.

- e) **Forma de presentación**. Las fuentes radiactivas pueden estar encerradas en una envoltura metálica que impide que se produzca dispersión del material radiactivo o **contaminación**. Estas fuentes se llaman **encapsuladas** y a este tipo pertenecen las utilizadas en laboratorios de física, como es el ^{57}Co , el $^{241}\text{Am-Be}$, etc. La cápsula también sirve como filtro de las radiaciones de energía más baja.

Las fuentes radiactivas de uso común en los laboratorios de Biología, Química, Farmacia, Medicina (medicina nuclear, laboratorios, etc), Odontología..., se presentan en forma líquida, **no encapsulada** y por lo tanto pueden producir contaminación si no se trabaja adecuadamente. Son por ejemplo el ^{32}P , ^{125}I , ^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{59}Fe .

II.- MEDIDA DE LA RADIACIÓN Y SUS EFECTOS

La interacción de las radiaciones ionizantes sobre un medio material produce un depósito de energía. En el caso de la materia viva este depósito puede tener como consecuencia una respuesta biológica.

II.1.- Dosis absorbida y dosis equivalente.

La magnitud que mide la energía depositada en el medio se denomina **dosis absorbida** y se define como la energía cedida por la radiación por unidad de masa irradiada (J/kg).

La unidad de medida es el **Gray (Gy)**. El rad es una unidad en desuso cuya equivalencia es: $100 \text{ rad} = 1 \text{ Gy}$.

Los efectos biológicos de las radiaciones no sólo dependen de la dosis absorbida sino también del tipo de radiación: fotones, radiación α , neutrones, etc. y de su distribución en el organismo. Para medir estos efectos se utiliza el concepto de: **dosis equivalente**, cuya unidad de medida es el **Sievert (Sv)**. La unidad antigua es el **rem**, siendo $100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv}$. Así la relación entre ambas magnitudes es:

$$\text{Dosis equivalente (Sv)} = \text{Dosis absorbida (Gy)} \cdot w_R$$

w_R es el factor de ponderación que depende del tipo de radiación y de su energía. Para la radiación gamma y beta dicho factor es igual a la unidad mientras que para la radiación alfa toma el valor 20. El Sv es una unidad demasiado grande para expresar la dosis equivalente recibida por las personas expuestas a las radiaciones, por esto se utilizan los submúltiplos **mSv (0.001 Sv)** y **μSv (0.00001 Sv)**.

II.2.- Detección y medida de las radiaciones ionizantes.

La detección y medida de las radiaciones se hace por métodos indirectos, esto es, evaluando los procesos físicos y químicos que provocan las radiaciones ionizantes al interactuar con la materia. Midiendo la intensidad del efecto, es posible conocer la cantidad y la calidad de la energía cedida por la radiación al medio irradiado.

- **Cámaras de ionización y contadores Geiger Müller**. Este tipo de instrumentos consisten básicamente en una cámara llena de gas, dentro de la cual están emplazados dos electrodos entre los que se establece una diferencia de potencial de algunos cientos de voltios. La radiación ioniza el gas, y la carga eléctrica producida es recogida por los electrodos, dando lugar a corriente eléctrica. Esta corriente se mide mediante un amperímetro previamente calibrado, en escalas de tasa de dosis. Se suelen utilizar como monitores de radiación que permiten la lectura en tiempo real, ya sea la tasa de dosis, cantidad de dosis por unidad de tiempo (modo tasa) o la dosis acumulada a partir de un momento dado (modo integración). Otros están diseñados como monitores de contaminación.

- **Película fotográfica**. Las películas fotográficas y las de radiografías consisten en una emulsión de microcristales de bromuro de plata que forma una fina película sobre una lámina de celulosa. La radiación provoca una reacción química en la emulsión por la que se produce plata metálica a partir del bromuro de plata, la cual ennegrece la película. La intensidad del ennegrecimiento se puede medir mediante un densitómetro óptico y a partir de esta medida, se puede determinar la dosis absorbida por la película. Los dosímetros de película, en general, se utilizan como dosímetros personales y son de lectura indirecta pues para las determinaciones de dosis el material sensible requiere de un tratamiento previo. Estos dosímetros trabajan siempre en modo integración.

- **Termoluminiscencia**. Algunas sustancias cristalinas como el FLi, al ser irradiadas, sufren cambios en sus niveles de excitación, dichos cambios consisten en que algún electrón puesto en movimiento por la radiación es atrapado por unos huecos o trampas que posee el cristal. Estos electrones permanecen en las trampas hasta que el cristal se calienta, entonces vuelven a su posición original emitiendo la energía sobrante en forma de luz, de ahí el nombre de termoluminiscencia (TL o TLD). La cantidad de luz emitida es proporcional a la dosis recibida por el material TL. Este material se usa principalmente como dosímetros personales, trabajando en modo integración y siendo de lectura indirecta.

- **Contadores de centelleo**: basados en la propiedad que tienen algunas sustancias de emitir luz visible o ultravioleta al incidir radiación ionizante sobre ellas. La detección de partículas de pequeño poder de penetración como las α y β , se lleva a cabo mediante la dilución de la muestra en líquidos de centelleo y su posterior recuento en contadores de centelleo, o bien en detectores de gas carentes de ventana. Los fotones gamma se suelen detectar con centelleadores sólidos inorgánicos.

Existen otros tipos de detectores como los **detectores semiconductores, detectores colorimétricos, detectores químicos, detectores calorimétricos**, etc.

III.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

La energía depositada por la radiación en la materia viva produce cambios en las estructuras celulares, dando lugar a efectos que pueden ser perjudiciales. Estos efectos son llamados: **somáticos**, si sólo afectan a la salud del individuo irradiado, y **hereditarios**, cuando afectan a la descendencia.

III.1.- Efectos deterministas (no estocásticos).

Aparecen como una consecuencia inevitable de la exposición a niveles altos de radiaciones ionizantes, por ejemplo, la producción de un eritema tras la irradiación, o de una anemia (efectos somáticos). Para que estos efectos se presenten, la dosis ha de alcanzar un cierto valor, **dosis umbral**, por debajo de la cual dichos efectos no se producen. El grado de importancia o severidad del efecto depende de la cantidad de dosis recibida.

III.2.- Efectos estocásticos (al azar).

Después de una irradiación, hay efectos tardíos que pueden presentarse o que pueden no presentarse, sin que se sepa el porqué ocurre así; por ejemplo, la exposición a las radiaciones ionizantes aumenta la probabilidad de que aparezca una leucemia o malformaciones fetales (efectos somáticos) o la posibilidad de transmisión de mutaciones a la descendencia (efecto hereditario), siendo sin embargo imposible en un caso particular asegurar que la aparición de una leucemia o un feto malformado sea deba a la irradiación recibida. Conforme aumenta la dosis equivalente, aumenta la probabilidad de que aparezca uno de estos efectos. Se considera que no hay dosis umbral y que la probabilidad de que se produzca es proporcional a la dosis recibida.

En personas expuestas durante largos períodos de tiempo a la acción de las radiaciones ionizantes se han descrito: alteraciones de la fórmula hemática, agravación de enfermedades crónicas, aumento de la frecuencia de cataratas, disminución de la fertilidad, alteraciones genéticas, etc.

Si por razones justificadas el desarrollo de una actividad (laboratorio, industria, hospital, etc.) implica riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes, se han de tomar las medidas necesarias para prevenir los efectos deterministas somáticos y disminuir la probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos (somáticos y hereditarios).

Para ello la dosis equivalente resultante de la exposición profesional ha de ser lo suficientemente baja para que no se alcance la dosis umbral, aún cuando la persona profesionalmente expuesta a las radiaciones, lo sea durante toda su vida laboral.

La limitación de los efectos estocásticos, se consigue, poniendo los medios para que la exposición producida por la actividad (instalación radiactiva, etc.) sea tan baja como razonablemente se pueda conseguir, teniendo en cuenta factores de orden social y económico. La protección radiológica tiene como finalidad la defensa del individuo, sus descendientes y la humanidad en su conjunto contra los riesgos que se derivan de la utilización de las radiaciones ionizantes. Para alcanzar este objetivo, se establecen normas y recomendaciones tanto nacionales como internacionales.

IV.- EL REGLAMENTO SOBRE PROTECCIÓN SANITARIA CONTRA RADIACIONES IONIZANTES (RPSCRI)

El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra radiaciones ionizantes fue aprobado por el Real Decreto 783/2001, constituyendo la transposición (no íntegra) de la Directiva 96/29/EURATOM y ha sido modificado por el Real Decreto 1439/2010.

Este Reglamento tiene por objeto establecer las normas relativas a la protección de los trabajadores y de los miembros del público contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. Es de aplicación a todas las prácticas que impliquen un riesgo derivado de las radiaciones ionizantes que procedan de una fuente artificial, o bien, de una fuente natural cuando los radionucleidos naturales han sido procesados por sus propiedades radiactivas, fisionables o fértiles. Es decir, aplica a todo tipo de instalaciones nucleares y radiactivas, de investigación, de uso, almacenamiento o transporte de materiales radiactivos, etc.

Dado que el incumplimiento de estas normas de protección somete a un riesgo innecesario, tanto a los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes como al público en general (personal de la universidad, alumnado y pacientes), su incumplimiento está sometido a un régimen sancionador, con multas cuya cuantía oscila desde los 3 mil € hasta los 3 millones de euros, motivo tampoco despreciable para conocerlas y cumplirlas.

IV.1.- Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR).

La actual legislación sobre Protección contra Radiaciones Ionizantes establece que debe existir un Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR) en aquellas instalaciones en las que, a juicio del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN.), sea necesario, dependiendo de la importancia y cuantía de las actividades que se desarrollen.

Los medios humanos de que dispone esta Unidad en la Universidad de Barcelona son: un Jefe de Protección Radiológica y por los Supervisores responsables de cada una de las instalaciones radiactivas. Este servicio tiene como misiones:

- Elaborar el Manual de Protección contra Radiaciones Ionizantes.
- Participar en la elaboración de los planes de emergencia interior y definición de responsabilidades.

- Optimización dosimétrica de las técnicas utilizadas en cada instalación.
- Supervisar el diseño de todos los sistemas, dispositivos o medidas de protección contra radiaciones ionizantes y contaminación radiactiva.
- Evaluación de los riesgos radiológicos de las instalaciones.
- Vigilancia de la radiación y la contaminación.
- Vigilancia en el almacenamiento y evacuación de residuos radiactivos sólidos y líquidos.
- Verificación de los sistemas de detección y medida de las radiaciones ionizantes.
- Aplicación de las normas de protección a los trabajadores expuestos.
- Control de los dosímetros personales, dosimetría de áreas.
- Clasificación de los trabajadores expuestos y vigilancia sanitaria de los mismos.
- Evaluar el impacto radiológico de las instalaciones, tanto en funcionamiento normal como en caso de accidente.
- Formación y entrenamiento del personal profesionalmente expuesto.

V.- NORMAS BÁSICAS DE PROTECCIÓN Y LÍMITES DE DOSIS

V.1.- Clasificación del personal.

El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, clasifica a las personas como:

- a) Trabajadores expuestos.
- b) Estudiantes y personas en formación
- c) Miembros del público.
- d) Población en su conjunto

Trabajadores expuestos son aquellas personas sometidas a una exposición a causa de su trabajo, derivada de las prácticas a las que se refiere el RPSCRI, que pudieran entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público. Cabe recordar que, en prevención de los efectos estocásticos, el límite de dosis ponderado a todo el cuerpo para los miembros del público es de 1 mSv por año oficial mientras que, en prevención de los efectos deterministas o no estocásticos, el límite es de 50 mSv/año en piel, y de 15 mSv/año en el cristalino.

Los **miembros del público** son personas de la población, con excepción de los trabajadores expuestos, las personas en formación y los estudiantes, durante sus horas de trabajo (Ejemplo: personal de la Universidad que no trabaja con radiaciones, alumnos, etc.). Por **población en su conjunto**, se considera a la totalidad del personal, abarcando tanto a los profesionalmente expuestos, estudiantes y personas en formación, así como a los miembros del público.

Como regla general se prohíbe a toda persona menor de 16 años participar en actividades en las que se pueda estar sometida a la acción de las radiaciones ionizantes. Para las **personas en formación y estudiantes**, mayores de 18 años que, durante sus estudios, tengan que utilizar fuentes, los límites de dosis aplicables serán los mismos de los trabajadores expuestos; mientras que si sus edades están comprendidas entre los 16 y los 18 años, los límites de dosis aplicables son de 6 mSv para la dosis efectiva por año oficial, 50 mSv para el cristalino, 150 mSv para la piel y 150 mSv para las extremidades, para las dosis equivalentes. Las condiciones de exposición y la protección operacional de estas personas serán equivalentes a las de los trabajadores expuestos de categoría B. Adicionalmente se contempla que los límites de dosis para personas en formación y estudiantes que no estén sometidos a las disposiciones anteriores, serán los mismos que los establecidos para el público.

V.2.- Límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos:

El límite de dosis efectiva será de 100 mSv durante todo período de cinco años consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial. Es decir, por año oficial serán:

<i>todo el organismo</i>	20 mSv (media). 50 mSv (máximo)
<i>crystalino</i>	150 mSv
<i>piel</i>	500 mSv
<i>manos, antebrazos</i>	500 mSv
<i>tobillos, pies</i>	

El límite para todo el organismo es para hacer frente a los efectos de tipo estocástico, mientras que los límites indicados para los órganos individualmente son para garantizar la no aparición de efectos de tipo determinista.

En el cómputo de esta dosis no se incluirán las dosis debidas al fondo radiactivo natural o los correspondientes a exámenes o tratamientos médicos.

V.3. Protección especial durante el embarazo y la lactancia

Tan pronto como la mujer embarazada comunique su estado al titular de la práctica, la protección del feto deberá ser comparable a la de los miembros del público. Por ello las condiciones de trabajo de la mujer embarazada serán tales que la dosis equivalente en feto sea tan baja como sea razonablemente posible, de forma que sea improbable que dicha dosis exceda de 1 mSv, al menos desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo. Por otro lado, desde el momento en que una mujer, que se encuentre en período de lactancia, informe de su estado al titular de la práctica, no se le asignarán trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación radiactiva. En la UB esta comunicación al titular se realizará a través del supervisor de la instalación o de la Unidad Técnica de Protección Radiológica.

V.4.- Exposiciones especialmente autorizadas.

Se definen como aquellas actuaciones en situaciones excepcionales, excluidas las emergencias radiológicas, cuya ejecución hace necesario exponer a las personas al riesgo de recibir dosis superiores a los límites ocupacionales legalmente establecidos. Para estas circunstancias se exigen unos requisitos particulares que debe cumplir cualquier persona que participe en dichas operaciones. Dichos requerimientos son los siguientes:

- Sólo serán admitidos los trabajadores expuestos pertenecientes a la categoría A.
- No se autorizará la participación en exposiciones especialmente autorizadas a:
 - a) Las mujeres embarazadas y aquellas que en período de lactancia puedan sufrir una contaminación corporal
 - b) Las personas en formación o estudiantes.
- Toda exposición especialmente autorizada deberá estar debidamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear. Esta autorización solo se concederá cuando las exposiciones estén limitadas en el tiempo, se circunscriban a determinadas zonas de trabajo y estén comprendidas dentro de los niveles máximos de dosis por exposición que defina para ese caso concreto el Consejo de Seguridad Nuclear.
- El titular de la práctica deberá justificar de antemano dichas exposiciones e informar a los trabajadores involucrados, a sus representantes, al Servicio de Prevención que desarrolle la vigilancia de la salud de los trabajadores, al Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica, al Supervisor o persona a quien se le encomiende las funciones de protección radiológica. La participación de los trabajadores en estas exposiciones tendrá el carácter voluntario.

Debido a las fuentes de que se dispone actualmente en la Universidad de Barcelona, resulta extremadamente improbable el que se puedan dar exposiciones especialmente autorizadas.

V.5.- Exposiciones excepcionales.

Son aquellas situaciones que dan lugar a exposiciones que podrían implicar la recepción de dosis superiores a los límites de dosis fijados para condiciones normales de trabajo, bien sea por una **exposición de emergencia (intervención)**, en la que la persona participa voluntariamente o bien una **exposición accidental**, de carácter fortuito.

En el caso de superación de los límites de dosis, como

consecuencia de una exposición especialmente autorizada o de exposiciones excepcionales, deberá realizarse un estudio para evaluar, con la mayor rapidez y precisión posible, las dosis recibidas en la totalidad del organismo o en las regiones u órganos afectados. Poniéndose inmediatamente los resultados en conocimiento del Servicio de Prevención que desarrolle la vigilancia de la salud de los trabajadores (quién determinará las condiciones posteriores de exposición), del Consejo de Seguridad Nuclear y del trabajador afectado. Adicionalmente se deberá realizar una vigilancia sanitaria especial.

V.6.- Protección radiológica de la población.

La contribución de las prácticas a la exposición de la población será tan baja como sea posible, teniendo en cuenta tanto los factores sociales como los económicos, proyectándose convenientemente las mismas para evitar o reducir al mínimo posible la evacuación al medio ambiente de efluentes.

VI.- MEDIDAS FUNDAMENTALES DE VIGILANCIA PARA LA PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS EXPUESTAS.

VI.1.- Normas generales de vigilancia.

Antes de iniciar su actividad, las personas expuestas deben ser informadas e instruidas sobre:

- Riesgos de las radiaciones ionizantes y sus efectos biológicos.
- Normas generales de protección radiológica contra las radiaciones ionizantes y precauciones que deben adoptarse tanto en condiciones normales de trabajo como en situaciones de accidente.
- Normas específicas, medios y métodos de trabajo para su protección en las operaciones que vaya a realizar.
- Tipos y utilización de los instrumentos de detección y medidas de las radiaciones ionizantes y de los medios y equipos de protección personal.
- Necesidad de someterse a reconocimientos médicos, en su caso.
- Actuación en situación de emergencia.
- Responsabilidades derivadas de su puesto de trabajo con respecto a la protección radiológica.

VI.2.- Prevención de la exposición.

Para mejor vigilancia y control, los trabajadores expuestos se clasifican en dos categorías: **A** y **B** dependiendo de la dosis que puedan recibir en su puesto de trabajo.

Los lugares de trabajo también se clasifican, en función del riesgo de exposición que en ellos existe, en las siguientes zonas:

- **Zona controlada:** Es aquella en la que a) exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades para los trabajadores expuestos. Y b) sea una zona en la que sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de la contaminación o prevenir o limitar la probabilidad de accidentes radiológicos. Las zonas controladas se subdividen en:
 - zona de permanencia limitada:** aquellas en las que existe riesgo de recibir dosis superiores a alguno de los límites anuales.
 - zona de permanencia reglamentada:** aquellas en las que existe riesgo de recibir dosis superiores a alguno de los límites anuales en cortos períodos de tiempo.
 - Las zonas donde con una única exposición se podría superar los citados límites, se clasifican como zona controlada de **acceso prohibido**.

En caso de emergencia se accederá a estas zonas con los medios de protección personal adecuados, mediante medios de acción a distancia o mediante la disminución previa del nivel de radiación.

- **Zona vigilada:** Es aquella en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas

superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades para personal profesionalmente expuesto.

La clasificación de los lugares de trabajo deberá siempre estar actualizada de acuerdo con las condiciones reales de trabajo.

Las zonas controladas y vigiladas deben estar delimitadas adecuadamente y señalizadas de forma que quede de manifiesto el riesgo de exposición existente en las mismas. La señalización consiste en un símbolo internacional, un trébol, que tendrá diferente color: **gris, verde, amarillo, naranja o rojo**, según la clasificación de la zona. Adicionalmente, si en dicha zona existe el riesgo de contaminación, el fondo de la señalización será punteado, mientras que si el riesgo existente es de irradiación externa, el trébol estará bordeado por puntas radiales. El acceso a las distintas zonas está limitado a las personas autorizadas al efecto.

En las zonas controladas con riesgo de irradiación es obligatorio el uso de dosímetros individuales.

A la salida de las zonas controladas y vigiladas en las que existe riesgo de contaminación (laboratorios con fuentes no encapsuladas) debe haber detectores adecuados para comprobar su posible existencia.

VI.3.- Determinación y riesgo de las dosis recibidas.

La dosis recibida por las personas expuestas, en condiciones de trabajo habituales, se ha de determinar **mensualmente**, bien mediante dosímetro personal (Zona controlada, y personal de categoría A) o bien ser estimadas a partir de los resultados de la vigilancia ambiental o de área, según protocolo aprobado por la autoridad competente (Zona vigilada y personal de categoría B). Si existe riesgo de que alguna parte del organismo pueda recibir dosis superior a la que recibe la totalidad del mismo, se utilizarán además dosímetros adecuados, en las partes potencialmente afectadas.

En el caso de una exposición accidental, se efectuarán las medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes.

Se registrarán las dosis recibidas durante la vida laboral de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes. Este registro constituye el denominado historial dosimétrico individual y ha de estar en todo momento a disposición del trabajador en el Servicio de Protección Radiológica. Las dosis recibidas en exposiciones excepcionales constarán de modo independiente en este historial. Los trabajadores expuestos que lo sean en más de una instalación, están obligados a dar cuenta de esta circunstancia al Jefe de Servicio de Protección Radiológica en cada uno de los centros en que trabajan al objeto de que en cada uno conste actualizado y completo su historial dosimétrico.

En la Universidad de Barcelona se utilizan dosímetros individuales del tipo termoluminiscente. Cada persona expuesta, tiene asignados dos de estos dosímetros, (uno para los meses pares y otro para los meses impares) y está obligada a entregarlos mensualmente al Servicio de P.R. para que se proceda a su lectura a través de un Servicio Dosimétrico autorizado.

El dosímetro ha de llevarse permanentemente durante toda la jornada de trabajo, cuando ésta se desarrolla en un laboratorio, o bien en una clínica donde haya equipos de radiodiagnóstico. En caso contrario solamente se ha de llevar mientras se permanece dentro de la instalación radiactiva.

Las personas que trabajan exclusivamente con radionucleidos emisores beta de muy baja energía y corto alcance como el ^{14}C , el ^{35}S o el ^3H , no están expuestas a riesgo de exposición externa y no es necesario que utilicen dosímetro, ya que es prácticamente nula la dosis que se pueda recibir por irradiación externa. En este caso existe la posibilidad de detectar la posible contaminación interna, mediante control de la sustancia radiactiva en muestras de orina.

El dosímetro de situará en la parte anterior al tórax y debajo del delantal protector, si es necesario utilizarlo. Se pondrá especial cuidado en que no se contamine. No se utilizará fuera de la Universidad en ninguna otra instalación.

En el caso de una sobreexposición accidental o de una utilización indebida (someterse a una exploración radiológica llevándolo puesto, etc.) o de extravío, se comunicará inmediatamente a la Unidad de Protección Radiológica, para que tome las medidas oportunas.

VI.4.- Vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos.

Esta vigilancia se basará en los principios generales de Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995 sobre Prevención de Riesgos Laborales. Toda persona que vaya a ser clasificada como trabajador expuesto de categoría A, se someterá a un examen de salud previo

y a reconocimientos periódicos (anuales).

En caso de sospecha de superación de alguno de los límites de dosis establecidos se deberá realizar una vigilancia sanitaria especial. Adicionalmente, se aplicarán otras medidas que el Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores considere adecuadas.

A cada persona profesionalmente expuesta se le abrirá un protocolo médico que contendrá los resultados de los distintos exámenes médicos realizados y el historial dosimétrico. Este protocolo estará a disposición del trabajador y de la autoridad competente.

En la Universidad de Barcelona se efectúan **reconocimientos médicos periódicos del personal expuesto**. Esta función es desarrollada por el Servicio de Prevención que desarrolla la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

VI.5.- Métodos básicos de protección radiológica:

VI.5.1.- Riesgo de radiación externa:

Distancia: La tasa de dosis disminuye con el cuadrado de la distancia a que se encuentra la fuente productora de radiación. Por ejemplo: si a un metro de distancia de una fuente, una persona estuviera expuesta a una tasa de dosis equivalente de 100 mSv/h, a dos metros la dosis sería de $100/4 = 25$ mSv/h y a tres metros de $100/9 = 11$ mSv/h; así sucesivamente.

Tiempo: La dosis equivalente recibida disminuye conforme lo hace el tiempo que dura la exposición. Si en una hora se reciben 100 mSv, en media hora, a igualdad de tasa de dosis, se recibirán 50 mSv y en 15 minutos 25 mSv.

Blindaje: Las radiaciones ionizantes, al atravesar la materia pierden intensidad. En este hecho se basan los blindajes y/o pantallas protectoras contra las radiaciones ionizantes. La atenuación que sufre la radiación ionizante depende de su naturaleza, de su propia energía y de la naturaleza del material absorbente. Las partículas α son frenadas por una hoja de papel. Las partículas β necesitan filtros de aluminio o metacrilato, las de gran energía pueden precisar incluso filtros adicionales de algunos milímetros de plomo. Finalmente, las radiaciones gamma y los rayos X requieren filtros de diversos espesores de plomo.

De estas consideraciones se deducen las tres reglas más generales de Protección Radiológica contra la radiación externa:

- 1.- *Permanecer lo más lejos posible de las fuentes de radiaciones ionizantes.*
- 2.- *Reducir el tiempo de exposición al mínimo posible.*
- 3.- *Interponer entre la fuente y el personal expuesto pantallas protectoras (blindajes adecuados).*

VI.5.2.- Riesgo de contaminación:

Se previene el riesgo de contaminación radiactiva mediante el confinamiento y manipulación de las fuentes no encapsuladas en lugares adecuados (cámaras de guantes, cámaras con sistemas de extracción de aire, etc), así como con el uso del vestuario adecuado.

El reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, establece unos coeficientes de dosis por unidad de actividad incorporada para cada radionucleido (Sv/Bq) para la incorporación de sustancias radiactivas al organismo, tanto por inhalación como por ingestión.

En los anexos I, II y V de este manual se establecen los métodos y normas de trabajo específicas para cada tipo de instalación, en las que existe riesgo de contaminación.

VII.- MEDIDAS FUNDAMENTALES DE VIGILANCIA PARA LA PROTECCIÓN DEL PÚBLICO

La protección de los miembros del público y de la población en su conjunto, se realiza mediante una serie de medidas y controles que aseguren que la utilización de las radiaciones ionizantes en las instalaciones radiactivas se lleva a cabo de forma segura.

Antes de comenzar el funcionamiento de una **instalación radiactiva** se ha de contar con una **autorización de funcionamiento**, en el caso de Cataluña otorgada por la *Direcció General d'Energia i Mines*, a partir de un informe elaborado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Para obtener este permiso se ha de presentar en Industria una

memoria técnica, en la que se detalla para cada uno de los radionucleidos que se prevé utilizar, la actividad máxima que se manipulará, y los fines a los que se destinan. En el caso de equipos productores de radiación las características técnicas de cada uno de ellos.

Se incluye la descripción de cada una de las áreas de trabajo con su clasificación como zonas controladas o vigiladas, y los blindajes si los hubiese. También se describen los equipos de control y medida de la radiación y contaminación.

Se elaborará un reglamento de funcionamiento, donde consten todos y cada uno de los procesos que sigue el material radiactivo en la instalación y los residuos, si los hubiese, las dosis que se estiman para los trabajadores expuestos y la dosis colectiva que puede recibir la población. También se ha de confeccionar un plan de emergencia interior, donde se establece las normas de actuación en el caso de un posible accidente.

Los organismos competentes (Consejo de Seguridad Nuclear o Comunidades Autónomas) realizan una inspección previa a la emisión de la **notificación de puesta en marcha** y una vez en funcionamiento, se realizan **inspecciones periódicas** (aproximadamente una al año).

Las personas que trabajan en una instalación radiactiva han de tener también una **Licencia de Supervisor o de Operador**, para lo cual han de demostrar ante el Consejo de Seguridad Nuclear su competencia para desarrollar sus funciones. Se exceptúan de la obligatoriedad de disponer de licencias a aquellas personas que, bajo la dirección o presencia de un Operador o Supervisor, realicen prácticas conducentes a la obtención de dicha licencia.

La legislación concerniente a las instalaciones radiactivas se desarrolla en el **Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas**, aprobado en el Real Decreto 1836/1999 y modificado por el Real Decreto 35/2008.

ANEXO I: LABORATORIO CON FUENTES ENCAPSULADAS

Las fuentes encapsuladas se caracterizan por no ofrecer acceso directo al material radiactivo, encontrándose éste inserto dentro de una funda o cápsula de material inactivo. Así pues, salvo en casos de rotura de la cápsula o de pérdida de su hermeticidad, no se puede tener contacto directo con el material activo. No obstante, las radiaciones del material activo (básicamente gamma o beta) sí que logran atravesar la pared de la cápsula, produciendo irradiación en el entorno de la fuente.

En el manejo y almacenamiento de estas fuentes, se han de utilizar blindajes adecuados a fin de minimizar la irradiación externa que puedan producir. Además se han de someter a controles periódicos de hermeticidad a fin de garantizar que no existe riesgo de contaminación.

Tanto el tipo como el espesor de material a utilizar como blindaje dependen de la naturaleza y energía de la radiación a apantallar:

- **Partículas alfa:** no precisan de apantallamiento pues incluso en el aire, su alcance es del orden de unos 5 cm.
- **Partículas beta:** es necesario emplear material absorbente de bajo número atómico para minimizar la producción de radiación de frenado. A tal efecto, resultan adecuadas placas de metacrilato. El espesor másico necesario para absorber la totalidad de los electrones de un espectro beta, aproximadamente viene dado por:

$$\text{Espesor (g/cm}^2\text{)} = 0.412 \cdot E_{\beta \text{m} \text{áx}}^n \text{ (MeV)}$$

con $n = 1.265 - 0.0954 \cdot \ln E_{\beta \text{m} \text{áx}}$

Existen emisores beta puros, donde para su correcto apantallamiento basta con aplicar una placa de metacrilato con espesor másico suficiente. En caso de que además haya una emisión gamma, se habrá de tener presente sus características específicas. En el apantallamiento de una fuente emisora beta con $E_{\beta \text{m} \text{áx}} > 1 \text{ MeV}$ y con una actividad $> 185 \text{ MBq}$, además del metacrilato se empleará una lámina de plomo de 2 mm para atenuar la débil radiación de frenado producida en el metacrilato. Esta lámina se ha de situar en la cara exterior.

- **Fuentes emisoras de fotones gamma o de RX características,** se habrá de utilizar un blindaje adecuado para que la tasa de dosis equivalente en cualquier punto accesible en contacto con el apantallamiento no supere los $10 \mu\text{Sv/h}$ ni los $3 \mu\text{Sv/h}$ a 1 m. En caso de tener varias fuentes juntas, el límite de la tasa de dosis equivalente a 1 m se aplica a la contribución suma de todas estas fuentes. Todas estas condiciones se suelen alcanzar simplemente utilizando el propio contenedor de transporte y cuando han de

estar en el exterior de éste, se han de apantallar preferentemente con un material de elevado número atómico, siendo el plomo el más utilizado.

Todas las fuentes encapsuladas han de estar unívocamente identificadas a fin de evitar confusiones. Sus contenedores también han de estar correctamente identificados, indicando el radionucleido, la actividad y fecha a que se refiere. Cuando la actividad de estas fuentes supere los niveles de exención, sólo podrán utilizarse dentro de la instalación radiactiva autorizada a tal efecto. También habrá de conservarse el certificado original de la fuente, emitido por el fabricante.

A la recepción de la fuente, el Supervisor anotará su entrada en el Diario de Operaciones.

Mientras las fuentes se encuentren fuera de uso, se almacenarán dentro de su contenedor de transporte y dentro de un armario cerrado con llave. Cuando se encuentren en uso, se adoptarán las medidas necesarias para controlar el acceso al laboratorio, el cual además ha de estar señalizado acorde con el criterio de clasificación de zonas detallado en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

Cuando por su actividad o aplicabilidad las fuentes resulten obsoletas se informará al Supervisor responsable o al Responsable de Protección Radiológica para su adecuada gestión.

Con la periodicidad detallada en la resolución de autorización de puesta en marcha, se efectuarán los controles de hermeticidad pertinentes de las fuentes encapsuladas. En caso de sospecha de deterioro de la fuente o de pérdida de estanqueidad de la cápsula, también se efectuará un control de carácter no periódico.

También se ha de llevar a cabo la verificación de la adecuabilidad de los blindajes aplicados especialmente mientras las fuentes se encuentren en uso.

ANEXO II: LABORATORIO CON FUENTES NO ENCAPSULADAS

Las fuentes radiactivas utilizadas en estos laboratorios carecen durante su uso de revestimiento o envoltura que impida que se establezca un contacto directo con el radionucleido o que éste se disperse.

Dichas fuentes se suelen utilizar básicamente como trazadores, donde el radionucleido se comporta químicamente según su número atómico y el hecho de que sea radiactivo facilita el poderlo detectar aún en el caso de presentarse en muy pequeñas concentraciones (inferiores a 10^{-2} ppb) aplicando técnicas de detección relativamente simples. Las actividades a manejar oscilan entre 3.7 kBq ($0.1 \mu\text{Ci}$) y 37 MBq (1 mCi) y básicamente son emisores beta puros o bien beta-gamma. Los primeros se suelen medir mediante la técnica de detección por centelleo líquido, mientras que los segundos se suelen medir con un detector de centelleo sólido en forma de pozo, introduciendo en su interior el vial con la muestra marcada.

Dentro de los emisores beta puros cabe destacar: ^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{32}P , etc. Mientras que como beta-gamma encontramos: ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{125}I , ^{131}I , ^{51}Cr , etc.

Relativo a la protección contra la irradiación externa, en el manejo de los beta puros se ha de tener presente lo indicado para el apantallamiento de emisores beta, mientras que para los emisores beta-gamma, el más restrictivo es el apantallamiento que se ha de aplicar para los fotones gamma.

No obstante, en el manejo de fuentes no encapsuladas el riesgo más notable es el de la contaminación tanto de los equipos y superficies del laboratorio como del personal que manipula las fuentes. A su vez, la contaminación del personal se puede dividir en externa, cuando es cutánea y en interna cuando ha sido incorporada al interior del organismo. Dicha incorporación puede producirse por una de las cuatro vías siguientes:

- a) *Inhalación*
- b) *Ingesta*
- c) *Heridas*
- d) *Perfusión cutánea*

En el caso de incorporación de un radionucleido, para la caracterización del factor fuente se ha de tener presente la actividad, el período de semi-desintegración físico, el período de semi-desintegración biológico, el tipo de energía y de radiación que emite y la radiotoxicidad que es la toxicidad que produce una sustancia debido a sus características físicas, químicas, radiactivas y al metabolismo de la sustancia en el organismo.

Como normas generales en el manejo de fuentes no encapsuladas en el laboratorio cabe destacar:

- 1 - Las fuentes radiactivas han de estar debidamente identifi-

cadadas con una etiqueta en la que constará el radionucleido, forma química, actividad y fecha en la que se determinó.

- 2 - La manipulación de las fuentes radiactivas no encapsuladas, se hará sobre una superficie no porosa, cubierta por un material desechable que pueda absorber los líquidos derramados accidentalmente. Dicho material (papel de filtro, etc.) en caso de mojarse será considerado residuo radiactivo.
- 3 - Siempre que sea posible se evitará el transporte del material radiactivo. Si es necesario transportarlo se hará en una bandeja o recipiente adecuado que reduzca al mínimo las consecuencias de las posibles roturas y/o derrames de las fuentes radiactivas.
- 4 - Las personas que tengan heridas abiertas no podrán trabajar con fuentes radiactivas no encapsuladas.
- 5 - Se utilizará el vestuario adecuado cuando se manipule material radiactivo, formado básicamente por la bata de laboratorio, guantes desechables y gafas de seguridad. Los guantes, una vez utilizados, se controlarán con un monitor de contaminación adecuado y en caso de obtener un resultado positivo se considerarán como residuo radiactivo. Se prestará especial atención en no contaminar otros objetos o las manos al quitárselos.
- 6 - No se accionará nada con la boca ni con la lengua: pipetas, etiquetas, etc.
- 7 - En la zona donde se trabaje con fuentes radiactivas, no se utilizará: alimentos, bebidas, tabaco, cosméticos, pañuelos no desechables, utensilios de comida y bebida, y en general cualquier sustancia u objeto que pueda ayudar a la incorporación al interior del organismo de la sustancia radiactiva.
- 8 - En toda la zona se deberá utilizar el vestuario de protección adecuado, formado básicamente por una bata, la cual antes de salir de la instalación se controlará que no esté contaminada.
- 9 - Una vez finalizado el trabajo, se lavarán las manos cuidadosamente y se hará un control de la contaminación.
- 10 - El material de laboratorio utilizado se lavará dentro del mismo laboratorio.
- 11 - Los guantes se han de sacar de modo que nunca se toque con la mano que ya no tiene guante, la cara exterior de la mano que aún lo lleva.
- 12 - Con los guantes puestos está totalmente prohibido el salir de la zona de trabajo así como manipular el material convencional que va a usar personal sin guantes (girar pomos para abrir puertas, coger el teléfono, coger un detector). Cuando se tenga que manipular simultáneamente equipos que requieren guantes y otros que no, se llevará guante en una sola mano; por ejemplo, para el control de contaminación de una pieza pequeña: en la mano con guante se sostiene la pieza mientras que con la otra se maneja la sonda del detector. Además, con los guantes puestos no se deben pasar las manos por la cara ni por otras prendas.
- 13 - El vestuario desechable, una vez utilizado se chequeará con un monitor de contaminación adecuado al radionucleido utilizado y se tratará como residuo convencional o radiactivo en función del resultado obtenido. El vestuario no desechable se someterá al mismo control y en caso de resultar contaminado según sus posibilidades se descontaminará o se tratará como desecho.

ANEXO III: EQUIPOS DE RAYOS X PARA ANÁLISIS

Como regla general, estos equipos utilizan una fuente de rayos X para producir una excitación en la muestra y a partir del espectro de desexcitación se pueden efectuar determinaciones analíticas de los componentes de la mezcla o del tipo de enlace molecular de los componentes. En todos estos casos la tensión de trabajo del tubo de rayos X oscila entre 15 kV y 50 kV y la intensidad no suele superar 30 mA. Un caso aparte lo constituyen los microscopios electrónicos, cuya diferencia de potencial puede llegar a los 300 kV.

Por regla general, en estos equipos la fuente de rayos X así como la zona irradiada resultan inaccesibles y los niveles de radiación en cualquiera de los puntos accesibles resultan ser negligibles, pudiéndoles ser pues de aplicación la exención de la aplicación del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, en virtud de lo dispuesto en el Anexo I del citado Reglamento.

En dichos equipos, el principal riesgo desde el punto de vista de la radioprotección es hacerlos funcionar vulnerando alguna de las protecciones electro-mecánicas o retirando algún blindaje o pantalla dispuesto por el fabricante.

ANEXO IV: RADIODIAGNÓSTICO

Los haces de rayos X utilizados en Medicina se producen mediante **tubos de rayos X** que consisten básicamente en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío y que alberga dos electrodos: el cátodo (filamento) y el ánodo o blanco. Los electrones emitidos por el filamento incandescente son acelerados hacia el ánodo (generalmente de tungsteno) debido a la diferencia de potencial establecida entre los dos electrodos metálicos. La emisión de rayos X es una consecuencia de las interacciones que se producen entre los electrones rápidos y los átomos del ánodo. La dureza o poder de penetración de los rayos X obtenidos depende de la aceleración de los electrones (energía) que es proporcional a la diferencia de potencial, **el kilovoltaje**, existente entre el cátodo y el ánodo: de 25 a 150 kV para los tubos de radiodiagnóstico. Dicha dureza también depende de la filtración que se aplique a los R.X. procedentes del ánodo.

La tasa de exposición y por lo tanto la tasa de dosis absorbida por el paciente en una exploración con rayos X es proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica del cátodo, medida en **miliamperios (mA)**. Resultando pues que la dosis total recibida es proporcional al producto de la intensidad (mA) por el tiempo de exposición (**s**). Dicho producto se expresa en las unidades **mAs**. Otros elementos importantes en un equipo de rayos X son:

El filtro, formado por una lámina delgada de aluminio o cobre que interpuesta en el haz de rayos X elimina los fotones con menor poder de penetración, los cuales no contribuyen a la formación de la imagen radiográfica pero que al ser absorbidos por la piel del paciente, suponen una importante dosis para la misma.

El colimador o diafragma: conjunto de láminas metálicas que permiten ajustar el haz de radiación al área que se desea explorar, impidiendo la irradiación de los órganos cercanos, a la vez que favorece la protección del personal ya que la dosis dispersa es menor.

Normas generales de protección radiológica respecto a los equipos de rayos X (I.C.R.P. nº 33)

- 1 - La radiación que atraviesa la coraza que cubre el tubo de rayos X (radiación de fuga), no debe ser superior a 1 mGy/h a 1 metro del foco, trabajando el tubo en las condiciones de máxima potencia.
- 2 - En escopia, la iniciación y terminación de la irradiación ha de hacerse con pulsador, en lugar de interruptor, de manera que cuando se deje de presionar el pulsador, se dejará de emitir radiación. También ha de existir un avisador acústico y un interruptor que corte la radiación en un tiempo máximo de 10 min.
- 3 - En el puesto de mandos del equipo existirán dispositivos de control, bien un selector o un aparato de medida, de la intensidad (mA), del potencial (kV), del tiempo (s) o de los mAs incluso cuando se hace con regulación automática.
- 4 - En grafía, el rearme no debe ser posible hasta que se deje de presionar el pulsador, con el fin de evitar repetición de disparos.

Normas generales de protección radiológica respecto a los pacientes.

- 1 - Elegir los parámetros (kVp, filtro) adecuados al espesor del paciente y al contraste necesario.
- 2 - El tamaño del campo será el menor posible, deberá estar centrado y se cuidará la alineación del tubo y rejilla antifusora.
- 3 - Elegir el sistema de imagen adecuado, de forma que produzca la mejor imagen con el mínimo de exposición para el paciente.
- 4 - Controlar frecuentemente la máquina de revelado y los negatoscopios.
- 5 - Reducción del número de exploraciones repetidas a consecuencia de placas descentradas o por resultar inadecuadamente impresionadas, etc.
- 6 - A las mujeres en edad fértil se las deberá interrogar sobre la

posibilidad de estar embarazadas.

Normas de trabajo en salas de rayos X.

- 1 - Las puertas de la sala de exploración deben permanecer cerradas mientras se están utilizando los equipos de rayos X (RX).
- 2 - No se debe dirigir el haz de rayos X hacia el puesto de control, ventanas, cámara oscura, etc..
- 3 - Durante los periodos de irradiación (escopia, radiografía) todo el personal debe permanecer en la zona blindada.
- 4 - El tiempo de examen y el tamaño del campo de irradiación serán los mínimos necesarios. La distancia del foco de rayos X a la superficie del paciente no será inferior a 45 cm.
- 5 - Se aplicarán al paciente protectores gonadales siempre que sea necesario, especialmente en el caso de niños.
- 6 - Ningún paciente debe permanecer o vestirse en la sala de RX. mientras a otro paciente se le esté haciendo un examen radiológico.
- 7 - No accederá a la sala de RX ninguna persona cuya presencia no sea estrictamente necesaria.
- 8 - El dosímetro se ha de llevar puesto mientras se realiza el trabajo y guardarlo alejado del haz de radiación cuando se finalice la jornada laboral. En el caso de utilizar delantal plomado, el dosímetro se situará detrás del mismo.
- 9 - En exploraciones intervencionistas, donde el personal sanitario ha de permanecer al lado del paciente, puede existir el riesgo de que alguna zona del organismo de dicho personal (manos, cristalino..) reciba más dosis que el resto. En este caso se ha de utilizar un dosímetro especial para controlar dicho órgano.
- 10 - Si es necesario sujetar el chasis o el paciente, se utilizarán soportes mecánicos, siempre que sea posible.
- 11 - Si el tipo de exploración requiere la permanencia de alguna persona cerca del enfermo se adoptarán las medidas siguientes:
 - Limitar el número de personas al mínimo necesario. Nunca una mujer gestante ni una persona menor de 18 años.
 - Limitar los periodos de irradiación todo lo posible, tanto en tiempo como en número.
 - Permanecer fuera del haz directo y lo más alejado posible del paciente y del tubo de RX.
 - Utilizar delantal y guantes plomados.
 - Registrar el nombre, fecha, número de exposiciones y técnica radiográfica utilizada.

Normas de trabajo en radiografía dental.

- 1 - El haz directo no irradiará a ninguna otra persona que no sea el paciente.
- 2 - Cuando sea necesario sujetar la placa dental, lo hará el propio paciente y nunca el odontólogo o el técnico.
- 3 - La persona que realice la exploración, permanecerá lo más alejada posible del paciente, y si debido a la estructura de la habitación ha de estar a una distancia inferior a 2 m llevará delantal plomado.
- 4 - Se limitará la apertura del haz de rayos X al mínimo necesario, mediante el uso de conos apropiados.
- 5 - Solamente se efectuarán las exploraciones radiológicas imprescindibles, sobre todo en el caso de niños y mujeres embarazadas.

ANEXO V: ALMACENAMIENTO Y EVACUACIÓN DE RESIDUOS CONTAMINADOS CON MATERIAL RADIATIVO.

La legislación española prohíbe la evacuación al medio ambiente de cualquier residuo radiactivo sólido si no se dispone de una autorización expresa para ello.

En cuanto a la eliminación de residuos radiactivos líquidos o gaseosos se hará de manera que las concentraciones de radionucleidos en el agua o en el aire no permitan superar los

límites de incorporación anual por ingestión o inhalación establecidos para los miembros del público. Dicha práctica sólo se podrá llevar a cabo en aquellas instalaciones cuya autorización de funcionamiento así lo contemple y con las limitaciones concretas que se le impongan.

1) Residuos sólidos:

Cabe diferenciar las **fuentes encapsuladas** y el **material no encapsulado**.

a) Fuentes encapsuladas: Llegado su caso, se acondicionarán según los criterios de aceptación dados por ENRESA, con la correspondiente cumplimentación de la hoja descriptiva de la fuente. Un caso singular, lo puede constituir las fuentes con un periodo de semi-desintegración inferior a un año, en cuyo caso, mediante la espera de un tiempo suficiente sus actividades pueden llegar a valores inferiores a 10 kBq. En estos casos y previa consulta con ENRESA, estas fuentes gastadas serán retiradas como residuos radiactivos y no como fuentes, quedando además reflejada su retirada en el Diario de Operaciones.

b) Material no encapsulado: Su gestión se ha de llevar a cabo dentro de la instalación radiactiva. El propio usuario que ha generado el desecho es el responsable de llevar a cabo su acondicionamiento. Para ello, inicialmente se han de segregar los líquidos de los sólidos y además en los diferentes tipos de radionucleidos.

Los sólidos solo se tratarán como desechos convencionales cuando su contaminación resulte inferior a los niveles de desclasificación autorizados para cada instalación radiactiva concreta. La práctica de la aplicación de criterios de clasificación como residuo convencional (desclasificación) sólo se podrá llevar a cabo por el Servicio de Protección Radiológica. Los residuos radiactivos sólidos pueden ser:

- Animales: Se conservan congelados en la Instalación.
- Sólidos en general: Se almacenan en bolsas de plástico normalizadas.

Todos los desechos radiactivos sólidos acondicionados han de estar adecuadamente etiquetados, detallándose el Departamento productor, el radionucleido o radionucleidos presentes con su actividad estimada y la fecha de cierre de la bolsa.

Periódicamente las bolsas cerradas, se llevan al almacén de residuos, y se comunicará a la Unidad de Protección Radiológica el número y tipo de bolsas que se han trasladado.

2) Residuos líquidos:

No se eliminarán líquidos por la red de alcantarillado sin consultarlo con la Unidad de Protección Radiológica. Además, dicha práctica sólo se podrá llevar a cabo dentro de la propia instalación, si esta dispone de autorización expresa.

Se separarán los líquidos de tipo acuoso de los que no lo son.

En los bidones para almacenaje, se indicarán con una etiqueta, el nombre del radionucleido contaminante, la actividad estimada y la fecha en que se llenó el bidón. Los bidones se llevarán al almacén de residuos y se procederá como con las bolsas de residuos sólidos.

En todos los casos se seguirán las normas establecidas por la Unidad de Protección Radiológica para cada Instalación Radiactiva y para cada tipo de residuo.

ANEXO VI: TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN:

1) Descontaminación de objetos.

La mayor parte de las veces, la contaminación se produce por el vertido de un líquido radiactivo. Las medidas a tomar dependen del tamaño y movilidad del objeto contaminado y del radionucleido contaminante, pero básicamente son las siguientes:

- Toda descontaminación se hará con la protección adecuada de las manos (guantes desechables). En caso de necesidad se usarán también cubre-batas desechables y cubre-zapatos.

- La primera medida será evitar que la contaminación siga extendiéndose, por lo que se eliminará el líquido derramado con un material adecuado, por ejemplo: papel absorbente.

- La descontaminación se hará frotando por vía húmeda siempre

que ello sea posible (el agente humectante puede ser agua, alcohol, acetona o bien una solución de detergente adecuado).

- Si el objeto contaminado es pequeño y lavable, se lavará con abundante agua corriente y jabón. En caso de necesidad se seguirá el procedimiento que se describirá al tratar la descontaminación de las manos. Si el objeto es grande o no se puede mover fácilmente (contador, pared, suelo, mesa de trabajo, etc.) se procederá a su descontaminación in situ.

Una vez realizado el lavado de descontaminación se comprobará con el monitor adecuado si persiste la contaminación. En caso afirmativo, se señalará debidamente la zona contaminada y se recubrirá con plástico fijado con cinta adhesiva a fin de evitar una dispersión de la contaminación o bien recubriéndolo con un blindaje adecuado si ello fuera necesario. Sobre el plástico o en una etiqueta adecuada se escribirá el radionucleido contaminante, fecha y hora en que sucedió la contaminación.

2) Tratamiento de la contaminación personal externa.

La contaminación de la piel se puede producir con un material radiactivo en forma de polvo, gas, solución acuosa o solución orgánica. La incorporación a través de la piel se realiza por un mecanismo de difusión. La mayor o menor velocidad con que una sustancia difunde a través de la piel depende de la sustancia en cuestión, de la estructura de la piel afectada y del estado de la piel. La permeabilidad de la piel aumenta mucho si está sometida a la acción de un factor irritante, ya sea de naturaleza química o física, como puede ser el calor.

Ante una contaminación externa hay unas reglas generales de conducta que deben observarse siempre:

- Despojarse de las prendas contaminadas.
- Lavar las zonas contaminadas.
- Usar ropa y calzado limpios para evitar una dispersión de la contaminación.
- Dar prioridad a la descontaminación de los orificios naturales de la cara y el cabello y las eventuales heridas que deberán ser protegidas adecuadamente.
- Evitar la contaminación de zonas no contaminadas durante las maniobras de descontaminación (lavado).
- Evitar lesionar la piel durante las maniobras de lavado y cepillado.

Hay que distinguir entre:

- **Descontaminación de un área definida de la piel:** La parte contaminada, por ejemplo las manos, se lavarán cuidadosamente con agua templada (30° C – 32° C), jabón neutro y un cepillo blando durante 2 - 3 minutos (especial atención merecen los pliegues de la piel, las uñas y el borde cubital de la mano). El área contaminada se recubre con una gruesa capa de espuma y se enjuaga con abundante agua corriente. Repetir 3 o 4 veces. Secar con papel absorbente, controlar con un detector para ver si persiste la contaminación. En caso afirmativo, se puede emplear cualquiera de los productos existentes en el mercado para lavar una piel especialmente sucia.
- **Descontaminación del cuero cabelludo:** El cabello se lavará con un champú o jabón detergente ácido, con la cabeza reclinada hacia atrás y cuidando no contaminar los oídos, ojos, nariz o boca. Se controlará la presencia de contaminación con un detector y en caso de persistir se repetirá el lavado, cuantas veces se estime necesario. Solamente en casos extremos será necesario el recurrir al rasurado de los cabellos.
- **Descontaminación de los ojos:** Se comenzará la descontaminación por la superficie externa de los párpados, después éstos se separarán bien y se lavará el ojo con abundante agua estéril (corriente si no hay otra), haciendo fluir del ángulo interno hacia el externo, evitando así la contaminación del canal lacrimal. A tal fin se utilizarán los lavajos de que disponen los laboratorios de la Universidad de Barcelona. Tratar la conjuntivitis que haya podido provocar el lavado con un colirio adecuado.
- **Tratamiento de contaminaciones difusas:** Por la actividad y volumen de radionucleidos utilizados en las instalaciones de la Universidad de Barcelona, resulta muy improbable el que se presente dicho incidente. En caso de producirse, se procederá a la ducha con abundante agua tibia y jabón. Secar y controlar.

3) Tratamiento de las heridas contaminadas.

Las heridas contaminadas con material radiactivo merecen una especial atención, debido a que:

- Puede haber un riesgo de que la dosis absorbida localmente sea muy alta, especialmente si el material contaminante contiene emisores beta de alta energía y marcados con una alta actividad específica.
- O de una rápida incorporación a través de los vasos linfáticos y sanguíneos lesionados. En el caso de sustancias solubles, la velocidad de incorporación es equiparable a la de la administración intravenosa del radionucleido.

El tratamiento de una herida contaminada debe iniciarse lo antes posible, tomándose las siguientes medidas:

- Si es posible se evitará que la contaminación alcance el torrente sanguíneo provocando el sangrado de la herida.
- Lavado de la herida con suero fisiológico o con agua oxigenada al 3%, controlando mediante un monitor de contaminación adecuado los resultados obtenidos.
- Aplicación de un antiséptico (p.e. mercurocromo) y de un polvo o pomada antibacteriana.
- Aplicación de un apósito estéril que evitará tanto una infección sobreañadida de la herida, como la dispersión de la contaminación.
- En caso de necesidad, se protegerá al paciente con suero antitetánico.

ANEXO VII: LEGISLACIÓN ESPAÑOLA BÁSICA EN MATERIA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

LEY 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear (BOE nº 107, de 4 de mayo de 1964).

LEY 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear (BOE nº 100, de 25 de abril de 1980).

LEY 14/1999, de 4 de mayo, de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear (BOE de 5 de mayo de 1999)

REAL DECRETO 1836/1999 de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (BOE nº 313, de 31 de diciembre de 1999).

REAL DECRETO 35/2008 de de febrero, por el que se modifica el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (BOE nº 42 de 18 de febrero de 2008)

REAL DECRETO 2115/1998 de 2 de octubre de 1998, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (BOE nº 248, de 16 de octubre de 1998).

REAL DECRETO 2225/1998, por el que se aprueba el Reglamento Nacional para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (BOE nº 262, de 2 de noviembre de 1998).

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, de 26 de julio de 2001).

REAL DECRETO 1439/2010, por el que se modifica el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (BOE nº 279, de 18 de noviembre de 2010).

REAL DECRETO 1085/2009, de 3 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico (BOE nº 173, de 18 de julio de 2009).

REAL DECRETO 1976/1999, de 23 de diciembre de 1999, por el que es establecen los Criterios de calidad en Radiodiagnóstico. (BOE nº 311, de 29 de diciembre de 1999).

LEY 31 /1995, de Prevención de Riesgos Laborales (BOE nº 269 de 10 de noviembre de 1995).

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Actividad.- Número de transformaciones nucleares espontáneas que se producen por unidad de tiempo en una fuente radiactiva.

Colimador (Diafragma).- Dispositivo adicional que define las dimensiones de un haz de radiación.

Contaminación radiactiva.- Presencia indeseable de sustancias radiactivas en la superficie (contaminación externa) o en el interior (contaminación interna) de un medio cualquiera.

Consejo de Seguridad Nuclear.- Único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Dosímetro.- Dispositivo que permite medir la dosis recibida.

Dosis absorbida.- Cociente de la energía media cedida por la radiación ionizante dividida por la masa del material irradiado.

Dosis efectiva.- Suma ponderada de las dosis equivalentes medias, recibidas en los distintos órganos o tejidos. El factor de ponderación tiene en cuenta diferente radiosensibilidad de cada órgano frente a los efectos de tipo estocástico.

Dosis equivalente.- Producto de la dosis absorbida por el factor de calidad (w_R) que tiene en cuenta las características de la radiación.

Efectos biológicos estocásticos.- Son los que se caracterizan por una relación dosis-efecto de naturaleza probabilística. No existe dosis umbral y una vez producidos son siempre graves.

Efectos biológicos no estocásticos.- Son los que se caracterizan por una relación de causalidad determinista entre la dosis y el efecto. Se manifiestan cuando la dosis recibida supera un determinado valor, dosis umbral. Su gravedad depende de la dosis recibida.

Exposición.- La acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes.

Exposición externa.- Exposición del organismo a fuentes de radiación ionizante exteriores a él.

Exposición interna.- Exposición del organismo a fuentes de radiación ionizante interiores a él.

Fondo radiactivo natural.- Está constituido por el conjunto de radiaciones ionizantes que provienen de fuentes naturales terrestres o cósmicas.

Fuente.- Aparato o sustancia capaz de emitir radiaciones ionizantes.

Fuente encapsulada.- Fuentes constituidas por sustancias radiactivas sólidamente incorporadas en materias sólidas inactivas o bien en el interior de envolturas inactivas con una resistencia suficiente para evitar, en condiciones normales de utilización, toda dispersión de material radiactivo.

Fuente no encapsulada.- Fuente cuya presentación y condiciones normales de utilización no permiten prevenir la dispersión de la sustancia radiactiva.

ICRP.- Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Incorporación.- Actividad de radionucleidos que se introducen en el organismo, procedentes del medio externo.

In vitro.- Pruebas realizadas exclusivamente en laboratorio.

In vivo.- Pruebas realizadas total o parcialmente en organismos vivos.

Ionización.- Fenómeno por el que un átomo pierde o gana electrones.

Instalación radiactiva.- Instalación de cualquier clase que contenga una fuente radiactiva no exenta o un aparato productor de radiaciones ionizantes que tampoco sea del tipo exento.

Límite de dosis.- Límites fijados en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Se establecen límites diferentes para los trabajadores expuestos y para los miembros del

público. En la determinación de la dosis no se tiene en cuenta la dosis debida al fondo natural y las recibidas en calidad de paciente en las diversas aplicaciones médicas.

Operador de instalaciones radiactivas.- Licencia que capacita para la manipulación de material radiactivo y equipos productores de radiación. Es otorgada por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Pantalla.- Dispositivo absorbente interpuesto en la trayectoria de la radiación para interceptarla total o parcialmente con el fin de protegerse.

Período de semi-desintegración.- El tiempo necesario para que la actividad de un radionucleido disminuya a la mitad.

Persona en formación o estudiante.- toda persona que, no siendo trabajador, recibe formación o instrucción en el seno o fuera de una empresa para ejercer un oficio o profesión, relacionado directa o indirectamente con actividades que pudieran implicar exposición a radiaciones ionizantes.

Radiaciones ionizantes.- Radiaciones compuestas por fotones o por partículas capaces de producir iones directa o indirectamente.

Radiodiagnóstico.- Utilización de los RX con fines diagnósticos: radiología convencional, dental, tomografía axial computarizada, angio-radiología digital, radiología intervencionista, etc.

Radionucleido (radioisótopo, elemento radiactivo).- Átomos que emiten radiación de forma espontánea al transformarse sus núcleos.

Radiotoxicidad.- Toxicidad debida a las radiaciones ionizantes emitidas por un radionucleido incorporado y por sus productos derivados. La radiotoxicidad no es debida únicamente a las características radiactivas del radionucleido sino que también depende de su estado físico y químico y del metabolismo de este elemento en el organismo o en los órganos.

Servei de Coordinació d'Activitats Radioactives.- Servicio de la Generalitat de Cataluña, que tiene encomendadas por el Consejo de Seguridad Nuclear las funciones: de vigilancia radiológica ambiental, inspección de las instalaciones radiactivas e inspección de transportes de material radiactivo dentro del ámbito autonómico de Cataluña.

Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica.- Servicio o Unidad encargada del establecimiento de las normas de protección radiológica y de la vigilancia de su cumplimiento.

Substancia radiactiva.- Substancia que contiene uno o varios radionucleidos cuya actividad no es despreciable desde el punto de vista de la radioprotección.

Supervisor de instalaciones radiactivas.- Licencia que capacita para dirigir el funcionamiento de una instalación radiactiva y las actividades de los operadores. Es otorgada por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Trabajadores expuestos (TE).- Aquellas que por razón de su trabajo están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes, que puede suponer recibir dosis anuales superiores a 1/10 de los límites de dosis anuales fijados para los trabajadores profesionalmente expuestas.

Titular.- Persona física o jurídica que tiene la responsabilidad y la autoridad sobre el ejercicio de las prácticas previstas en el Reglamento sobre Instalaciones nucleares y radiactivas.

Zona controlada.- Zona sometida a reglamentación por razones de protección contra las radiaciones ionizantes y en la cual el acceso está reglamentado.

Zona vigilada.- Zona sometida a una adecuada vigilancia a efectos de protección contra las radiaciones ionizantes.