

CUADERNOS PARA UNA HISTORIOGRAFÍA DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN ESPAÑA

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL SECTOR SANITARIO



CRÉDITOS

© Sociedad Nuclear Española

Edita: SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA (SNE)

Diseño y maquetación: Grupo SENDA

ISBN: 978-84-09-59230-2

HISTORIOGRAFÍA DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN ESPAÑA

La Sociedad Nuclear Española (SNE) y la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) editan esta publicación dirigida a sus socios, profesionales del sector, mundo de la docencia, historiadores y lectores interesados, que tiene como objetivo informar y divulgar la historia, la organización y el desempeño alcanzado en la Protección Radiológica (PR) en España.

Con este fin y para cubrir un campo del saber tan complejo y extenso que afecta a la ciudadanía y que involucra a la administración del estado, la medicina, la industria, los servicios y la docencia, en sus ámbitos públicos y privados, se ha recabado la participación de más de un centenar de profesionales que desempeñan o han desempeñado puestos de responsabilidad o que destacan o han destacado en su ejercicio.

La publicación en formato electrónico está articulada, primeramente, mediante cuadernos, con los artículos de los autores, que se irán incorporando a la misma atendiendo a las distintas áreas temáticas en las que se ha estructurado la publicación:

1. Introducción
2. Desarrollo histórico de la protección radiológica en España
3. Historia de la organización de la protección radiológica
4. Evolución de la regulación de la protección radiológica
5. La protección radiológica operacional en el sector industrial
6. La protección radiológica en el sector sanitario
7. La protección radiológica ambiental.
8. La protección radiológica en accidentes y emergencias
9. Aspectos específicos de la protección radiológica en España.

Esta publicación electrónica está disponible tanto en la página web de la SNE como en la página web de la SEPR.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL SECTOR SANITARIO

COORDINADOR

Rafael Herranz. *Centro de Radiopatología HGU Gregorio Marañón*

En este cuaderno se describe el papel que ha tenido, desde sus orígenes, la protección radiológica en el sector sanitario. Para ello se ha contado con un amplio abanico de especialistas que firman todos y cada uno de los distintos apartados en los que se ha estructurado este cuaderno:

• LOS SERVICIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y FÍSICA MÉDICA EN EL SECTOR SANITARIO.	11
• PRIMERAS ACTUACIONES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA PARA RADIODIAGNÓSTICO E INTERVENCIONISMO.	27
• PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIOTERAPIA Y MEDICINAS NUCLEAR.	33
• VISIÓN DE LOS TÉCNICOS EN RADIOLOGÍA Y RADIOTERAPIA.	43
• SOLICITUD, CÁLCULO Y ELABORACIÓN DE INFORMES DE DOSIS EN FETO DE PACIENTES GESTANTES EXPUESTAS A RADIACIONES IONIZANTES POR MOTIVOS CLÍNICOS.	55
• RADIOPROTECCIÓN EN RADIOTERAPIA. LOS ORÍGENES.	69
• PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIODIAGNÓSTICO.	77
• RADIOPROTECCIÓN DEL PACIENTE Y DEL PERSONAL SANITARIO EN PROCEDIMIENTOS DE MEDICINA NUCLEAR.	87
• VIGILANCIA MÉDICA DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS.	
- INTRODUCCIÓN.	97
- VIGILANCIA MÉDICA EN CENTRALES NUCLEARES.	101
- VIGILANCIA MÉDICA CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR.	109
- VIGILANCIA MÉDICA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS.	115

INTRODUCCIÓN

Rafael Herranz Crespo. *Ex jefe del Servicio de Oncología Radioterápica y Centro de Radiopatología. Hospital General Universitario Gregorio Marañón. Madrid*

Un principio, de pura lógica intuitiva, nos hace pensar que ningún campo de la Ciencia es una isla y que el conocimiento de la Biología humana y su funcionalismo, es el resultado de la unión de un conjunto de Ciencias interdependientes entre si. Un ejemplo representativo de ello es que la mayoría de los avances en la Salud humana están respaldados por principios emanados de la Biología y la Física.

El aprovechamiento eficaz de esta sinergia entre Ciencias nos lleva, en el momento actual, a su uso coordinado y una mejoría eficaz en el control de la salud.

En Medicina y hasta los años 80 del Siglo XX todas las especialidades médicas que se basaban en el uso de esta sinergia, se agrupaban bajo en el término genérico de Electrorradiología hasta que fueron denominadas en sus términos más identificativos como Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Radioterapia, posteriormente Oncología Radioterápica.

Un breve recorrido histórico hacia los principios de la aplicación médica de las Radiaciones y de la inseparable Física de ellas, nos lleva a finales del Siglo XIX con nombres como Roentgen (1895), Becquerel (1896), Curie (1898) Jolliot-Curie (1934), entre otras muchas aportaciones en línea investigadoras y de descubrimientos como la Física Atómica y la descripción de los sucesivos modelos atómicos.

Paralelamente, nace una nueva Ciencia, la Radiobiología que acabará sentando las bases de la diferente sensibilidad de los tejidos humanos, Radiosensibilidad, frente a estas formas de Radiación. Esta nueva ciencia obliga a estudiar la diferente radiosensibilidad de los tejidos orgánicos y crear normas científicas y legales para ayudar y proteger al ser humano, enfermo o sano, frente a estos efectos nocivos.

A pesar de numerosos detractores de la época, el hombre, fiel a su tradición de uso del sentido común, asocia Ciencias a la Biología como la Física, Ingeniería, Matemáticas e informática junto a otras afines, que, asociadas a potentes inversiones económicas, permiten iniciar el diseño y construcción de grandes máquinas generadoras de energías cada vez mayores para uso en Terapia y Equipos de diagnóstico aprovechando tanto la emisión de Rayos X como para la detección de Radiación Gamma, procedente de elementos radiactivos introducidos en el cuerpo humano.

Yendo por especialidades y centrándonos en diagnóstico por la imagen, durante los primeros 70 años del Siglo XX se verifica un progresivo perfeccionamiento en la obtención de imágenes con Tomógrafos en Intensificadores, asociados al uso de contrastes Radio opácos. La mejoría evidente de la calidad viene de la mano de dos grandes aportaciones, la Tomografía Axial Computarizada (TAC), Godfrey Hounsfield, 1970 y la Resonancia Nuclear Magnética (RNM), 1972 P. Lauterbur, aplica a la obtención de imágenes del cuerpo humano, lo que ya se venía utilizando para espectroscopia de cuerpos sólidos.

El uso de Isótopos Radiactivos, desde su descubrimiento por el matrimonio Jolliot Curie en 1934, el primero en utilizarse en diagnóstico y tratamiento de patologías frecuentes de la glándula Tiroides, fue el I-131. Más recientemente se incorporó un Radioisótopo multiuso clínico, el TC-99m. Con la incorporación progresiva de instrumentación scanners, Gammagrafos, Tomografía Gama Cámaras, con tratamiento digital de imágenes y

reconstrucción virtual, la evolución técnica y su aplicación en Medicina Nuclear es progresiva ya que no solo permite estudios morfológicos, sino vascularización y funcionalidad, el spect tomográfico por emisión de fotón único, es un ejemplo de ello.

Un avance muy importante en la Medicina Nuclear es poder utilizar imágenes basadas en la bioquímica y la alteración de la fisiología, en áreas orgánicas afectas por patología oncológica. El elevado consumo de Glucosa, provocado por la elevada síntesis de proteínas por el propio desarrollo tumoral, conjuntamente con el conocimiento de la Física de las partículas atómicas, permite proceder al “marcaje” de las moléculas de Glucosa, sustituyendo un átomo de oxígeno por otro de Fluor 16, que se depositará en el entorno o el interior de las células cancerosas. Esa emisión de positrones va a provocar un fenómeno de aniquilamiento entre electrones positivos y negativos, emitiendo dos radiaciones gamma y que salen en direcciones opuestas y con la misma energía de la masa del electrón. Su detección mediante un sistema ideado por Ter Pogossian en EEUU, de detectores en anillo, permite definir áreas hiperactivas metabólicamente integradas por células tumorales. Se conoce con el nombre de PET o TEP.

La Ingeniería y la electrónica permiten obtener imágenes de fusión de manera que la conjunción de TAC, RMN y PET sitúan anatómicamente la localización de las imágenes antedichas, convirtiéndose así en la técnica más adecuada para el importante diagnóstico y seguimiento. Oncológico.

Estamos alcanzando, la quimera dorada de disponer de recursos, que nos permitan alcanzar el sueño del “hombre transparente”, sin necesidad de recurrir a prácticas más agresivas, para conocer la totalidad de la anatomía y fisiología de sus órganos.

Respecto a la Radioterapia, las primeras máquinas generadoras de alta energía son de los años 30, Lawrence, 1932, construye el primer ciclotrón emisor de neutrones. Van der Graaf, 1933 diseña el primer generador electrostático y ya en 1937 se generan fotones de alta energía secundarios a la colisión de electrones acelerados.

El primer Betatrón, Kerst 1940, permite acelerar electrones hasta energías entre 20 y 300 MEV. Ya en 1947 se inicia la producción en serie de Aceleradores Lineales que, de forma inicial en Europa y oficialmente se utilizan en clínica a partir de 1952, en el Hammersmith Hospital de Londres. En ese mismo año se fabrican para uso clínico las primeras máquinas de Co-60 y CS-137.

Desde el primer momento se verificó, la importancia negativa del depósito de energía fuera de las áreas claramente objetivo de la radiación y con ello la producción de importantes efectos secundarios. La Física ha dedicado sus máximos esfuerzos a minimizar estos efectos secundarios, sobre todo en los llamados órganos críticos. La formación de especialistas en Radiofísica e Ingeniería y la disponibilidad de sistemas computarizados de planificación terapéutica, basadas en la delimitación por imagen de las áreas a tratar y de los llamados órganos críticos, que junto a ellas se encuentran, con reproducción tri y tetradimensional, ha permitido alcanzar la máxima definición de ambas y su consiguiente radioprotección.

Otra aportación importante y no por ello menos compleja ha sido la incorporación de partículas pesadas, neutrones, protones y hasta iones pesados, todos ellos con pico de frenado y depósito de energía prácticamente total en el objetivo del tratamiento. Esta euforia terapéutica inicial ha tenido un freno y es el elevado coste económico de estas instalaciones.

El futuro se encuentra en manos del pleno desarrollo de la fusión de las Radiaciones Ionizantes con la Inmunoterapia que permita utilizarla como mecanismo transportador mediante su adecuada asociación.

Técnicamente el uso de Aceleradores Lineales se ha visto beneficiado, en esta búsqueda de delimitación máxima del depósito de energía en el área problema, mediante el uso de colimadores multiláminas, visión portal, adaptando depósito de dosis en función de tejido patológico o normal que va atravesando la radiación.

La IMRT, Intensidad Modulada, permite adaptar el depósito de radiación a su necesidad terapéutica, evitando áreas críticas a proteger. La Tomoterapia adapta la tecnología estructural de la TAC, para irradiar de forma continua. Otros avances fueron la Radioterapia estereotáxica intra y extracraneal, que permite depositar en puntos muy bien definidos geométricamente, altísimas dosis de radiación. Una forma, ya frecuente en su uso es la Radioterapia intraoperatoria, RIO.

Diversas formas de aplicación de Radiación en contacto con el objetivo de tratamiento, Braquiterapia, intracavitaria, intersticial, de contacto etc, con tasa de dosis variable, permiten administrar altas o muy altas dosis de radiación, sobre el objeto de tratamiento, con mínima repercusión en las estructuras vecinas.

Nuestro país incluyó, de forma preferente, a todos los niveles sanitarios posibles, Instalaciones radiológicas que, a día de hoy permiten ofrecer actividades diagnósticas y terapéuticas de primer nivel mediante usos de RRII y todo ello con el adecuado control radiológico.

También la formación de especialistas Titulados Superiores y Técnicos Superiores en todas las especialidades que garantiza el adecuado uso de la radiación y una protección radiológica apropiada.

Una aportación fundamental de la Física, la Radiofísica, en particular, es su implicación en minimizar cualquier daño que, en cualquiera de sus múltiples objetivos, tiene el uso de las RRII en su aplicación sobre el ser humano. Es la Protección radiológica. Los primeros pasos del uso de estas formas de energías dejaron lo que se dio en llamar “numerosos mártires de la Radiología”. En 1906 ya existían evidencias del comportamiento biológico de los diferentes tejidos humanos frente a esta agresión física. En 1925 los expertos reconocieron la necesidad de cuantificar la exposición a RRII. En 1928 el Congreso Internacional de Radiología crea el ICRU y la ICRP, que rigen hasta nuestra época, tanto las Unidades y medidas de Radiación, como las normas de Protección Radiológica y las dosis de exposición máximas permisibles para profesionales, paciente y público en general y que, obviamente han ido siendo revisadas y adaptadas hasta la actualidad y reguladas a través de la legislación y RD pertinentes y mencionados por los autores en sus presentaciones.

En 1957 se firma el tratado EURATOM y posteriormente se promulgó el principio ALARA que racionaliza en uso de las RRII, sobre todo en su uso médico. Se trata de regular las dosis permisibles a personas profesionalmente expuestas, pacientes sometidos a RRII y público en general. La dosimetría adecuada en aplicaciones médicas, Radiofísica, la dotación de dosímetros personales y de medio ambiente, protección radiológica, todo ello complementado con la obligada vigilancia médica a profesionales, Servicios médicos especializados, permiten la vigilancia y complementación de normas.

En nuestro país el Primer Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas es de 1973. En 1980 se crea el Organismo regulador de protección radiológica, CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR, CSN y en 1984 inicia su andadura en España la Empresa de gestión y tratamiento de residuos radiactivos. ENRESA.

Otra actividad a la que se dedican varios espacios de este Cuaderno es, la vigilancia de la salud de las personas profesionalmente expuestas, capítulo obligado y regulado por múltiples Organismos nacionales e internacionales y en nuestro país por el Organismo regulador al respecto, el Consejo de Seguridad Nuclear. A ello se dedican varios de los trabajos publicados en este Cuaderno, entre ellos uno muy importante, que es el control de la mujer gestante sometida a estudios con RRII.

En el Cuaderno ya publicado sobre Radiobiología y dosimetría biológica, figura en extenso el seguimiento de posibles personas expuestas a Radiación mediante el estudio biológico, de sus posibles alteraciones cromosómicas. Un método ya consolidado y que permite confirmar o desechar dosis recibida por la persona expuesta.

Permítanme remitirles a los diferentes capítulos de estos Cuadernos para tener información detallada de la Reglamentación y RD propios de cada especialidad, con el fin de no ser reiterativo.

A modo de EPILOGO y con mi pensamiento puesto en mi actividad profesional, la Medicina, queda suficientemente claro que la sinergia y colaboración entre Física, Ingeniería y Medicina, mediante el control de la energía de radiación, la imagen médica y la limitación de daño secundario, han abierto múltiples posibilidades para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades y en definitiva permiten ampliar el tiempo de vida, añadiendo además una mejor calidad de la misma. Todo ello, más que adecuadamente en sus respectivas especialidades y niveles.

Biológicamente la FÍSICA y la MEDICINA conviven como una forma de Simbiosis y dentro de ella como un Mutualismo ya que la asociación es necesaria y ventajosa para ambos.

No puedo cerrar esta introducción sin agradecer a los autores de los distintos trabajos que figuran en estos dos cuadernillos, sus contenidos. Sus conocimientos, basados en la práctica de los mismos, a todos los niveles descritos y su forma de exponerlos, permite cualificarlos excepcionalmente. Nuestro agradecimiento por ello.

REFERENCIA: Conferencia sobre “La colaboración entre Física y Medicina”. Dr, Rafael Herranz Crespo. COFIS. Madrid. 2005.

Carmen Álvarez. *CSN*

Historia de los servicios de protección radiológica, los servicios de física médica y la participación de las unidades técnicas de protección radiológica en las instalaciones radiactivas de uso médico.

Historia de los Servicios de Protección Radiológica

Los Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica, son entidades expresamente autorizadas por el Consejo de Seguridad Nuclear para desempeñar las funciones establecidas en el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las Radiaciones Ionizantes. El Servicio de Protección Radiológica (SPR) es una entidad propia de un titular, mientras que la Unidad Técnica de Protección Radiológica es una entidad ajena contratada por el titular.

El especialista en Radiofísica Hospitalaria es una persona física con título oficial de postgrado expedido por el Ministerio de Educación, que ha realizado una prueba nacional y un ciclo formativo de tres años de conformidad con el Real Decreto 183/2008 de 8 de febrero, por el que se determinan y clasifican las especialidades en Ciencias de la Salud y se desarrollan determinados aspectos del sistema de formación sanitaria especializada (1).

Se reglamenta la creación de SPR y UTPR en el primer Reglamento que se publicó en España en 1982 sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 2519/1982) y se establece también en él que el Consejo de Seguridad Nuclear, considerando el riesgo radiológico de las instalaciones, debe decidir los casos en los que las funciones de protección radiológica deben encomendarse a un SPR propio de la instalación, con el mismo titular, o a una UTPR contratada al efecto. En las diversas modificaciones del mencionado reglamento, se van matizando estas dos figuras. Así, en la publicación de 1992 (Real Decreto 53/1992) se establece la organización de los SPR y UTPR, se establece que el Jefe del SPR o UTPR ha de ser propuesto por el titular al CSN para su aceptación y que dicho Jefe ha de ser expresamente autorizado por el CSN.

Por otro lado, los Servicios de Protección Radiológica propios del titular, han de actuar con independencia del resto de las unidades funcionales que utilicen radiaciones ionizantes y han de mantener dependencia funcional directa de dicho titular.

En la publicación de 2001 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 783/2001) (2) se introduce la definición del personal que forma parte de SPR y UTPR: Jefe del Servicio o Unidad Técnica que ha de estar en posesión de un Diploma expedido por el CSN y de los Técnicos expertos en protección radiológica cuya formación ha de estar avalada por el Jefe del SPR o UTPR.

Actualmente, en el Real Decreto 1029/2022 de 20 de diciembre (3) por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (Real Decreto de transposición parcial de la Directiva 2013/59/EURATOM (4), se clarifican los cometidos y responsabilidades de los expertos pertenecientes a los SPR y UTPR que proporcionan asesoramiento específico en protección radiológica y realizan las funciones que en esta materia recaen en ellos. (3)

Además de lo expuesto y dirigido exclusivamente a instalaciones de uso médico, en el Real Decreto 1132/1990 de 14 de septiembre (5), por el que se establecen medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos, (conocido coloquialmente como Real Decreto de protección del paciente), se especifica la obligatoriedad de disponer de un experto cualificado en radiofísica, propio o concertado, dependiendo de las características de la instalación (Art. 5º). Esta nueva cualificación se reguló como especialidad en el Real Decreto 220/1997 de 14 de febrero (4 6), por el que se crea y se regula la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria con carácter de título oficial de postgrado. Dicho título acredita la adquisición de los conocimientos necesarios para la correcta planificación e investigación de las técnicas utilizadas por la física de las radiaciones en los exámenes y tratamientos médicos que impliquen la exposición de los pacientes a radiaciones ionizantes, el control de calidad de los equipos e instalaciones empleados en dichos exámenes y tratamientos, y la protección radiológica de las personas afectadas por los mismos.

De acuerdo a este Real Decreto, el Jefe de un SPR en el Sistema Nacional de Salud, ha de estar en posesión de la especialidad de Radiofísica Hospitalaria, de esta forma quedan totalmente relacionadas, por un lado la protección radiológica de los pacientes y, por otro lado la de los trabajadores y público.

El Real Decreto 1891/1991 de 30 de diciembre, sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico, asigna a los Servicios o Unidades Técnicas de Protección Radiológica la realización de las medidas de radiación en las instalaciones de rayos X y la realización de los controles de calidad a dichos equipos de rayos X. Otros aspectos, como la medida de la dosis a los pacientes y la evaluación de la calidad de imagen, quedan específicamente asignados a los especialistas en Radiofísica Hospitalaria. Posteriormente, en el Real Decreto 1085/2009 de 3 de julio (7), por el que se aprueba el vigente Reglamento de instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico, se regulan todas estas actividades.

Posteriormente, fueron publicados por el Ministerio de Sanidad los Reales Decretos de: Justificación del uso de las radiaciones ionizantes de las personas con ocasión de exposiciones médicas (8), y los tres Reales Decretos por los que se establecen los criterios de calidad en Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Radioterapia, asignando expresamente la realización de estos controles de calidad al especialista en Radiofísica Hospitalaria. Con estos Reales Decretos de criterios de calidad se da cumplimiento al objetivo fundamental expresado en el Real Decreto 1132/1990 (5) citado anteriormente, de desarrollar una vigilancia estricta en cuanto a los criterios de calidad en Radiodiagnóstico, Radioterapia y Medicina Nuclear, para optimizar la protección radiológica del paciente. La competencia de la aplicación de los criterios de calidad, corresponde a las Autoridades Sanitarias de las Comunidades Autónomas.

La obligación que imponen los tres Reales Decretos sobre Criterios de calidad en Medicina nuclear, radioterapia y radiodiagnóstico (*) corresponden, entre otras, a las funciones de los especialistas en Radiofísica Hospitalaria.

En el Real Decreto 183/2008 de 8 de febrero, relativo a las especialidades en Ciencias de la Salud, mencionado al principio de este apartado cuando se identifica al especialista en Radiofísica Hospitalaria, en su Disposición Adicional Primera, se establece que el Jefe de un SPR de cualquier Centro Sanitario (no solo público), ha de estar en posesión de la especialidad de Radiofísica Hospitalaria (1).

(*) Actualmente los Reales Decretos de criterios de calidad en Radioterapia y Radiodiagnóstico están en revisión por transposición de la Directiva 2013/59/EURATOM a Legislación Nacional (9) (11). Únicamente se ha modificado y publicado el de Medicina Nuclear (10)

En el caso de las UTPR, después de amplias discusiones entre los diferentes profesionales dedicados a esta materia, se acordó que el Jefe de la UTPR no tenía por qué ser especialista en Radiofísica, pero si la UTPR tiene entre sus actividades efectuar controles de calidad, medidas de dosis a pacientes o cualquier otra actividad relacionada con el paciente, deberá tener contratado a un especialista en Radiofísica Hospitalaria.

El Personal de los SPR y UTPR. Expertos en Protección Radiológica

En el grupo de los profesionales de los SPR y UTPR se distinguen dos niveles atendiendo al grado de responsabilidad del Experto en Protección Radiológica: Experto cualificado con Diploma de Jefe de un SPR o UTPR concedido por el CSN y, Técnico Experto en Protección Radiológica, que se acreditará mediante certificación expedida por el Jefe del Servicio o Unidad donde ejerza sus actividades.

Requisitos para la obtención del Diploma de Jefe de un SPR o UTPR

En el caso de los Jefes de los SPR y UTPR los requisitos de cualificación son los de más alto nivel. Existen multitud de referencias sobre la formación de estos profesionales ya que muchos países prevén en su reglamentación una figura semejante bajo la denominación genérica de Experto en Protección Radiológica. Tanto los organismos reguladores como las organizaciones internacionales (OIEA, NEA) y la Comisión Europea han definido requisitos de cualificación y programas de formación para los mismos.

En el año 2001 el OIEA publicó un *Programa estándar para un curso de postgrado sobre protección radiológica*, en el que se describen detalladamente los contenidos teóricos y prácticos para un curso de nivel superior en esta materia.

En España la formación de nivel superior sobre protección radiológica ha sido facilitada fundamentalmente a través del curso que anualmente se viene desarrollando por el CIEMAT. Este curso cubre los objetivos y contenidos incluidos en los documentos mencionados.

En la Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear nº IS-03 de 6 de noviembre de 2002 (BOE nº 297 de 12.12.2002), sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes, se establecen los requisitos a seguir para la obtención del Diploma de Jefe de un SPR o UTPR (12). Dichos requisitos son:

- Titulación superior
- Formación específica sobre:
 - Los fundamentos y la tecnología de la protección radiológica, equivalente a un curso de 300 horas de duración
 - Conocimientos en materia de seguridad y protección radiológica, respecto de las instalaciones en las que vaya a prestar servicio
- Experiencia y entrenamiento: Se requiere una experiencia acreditada mínima de 3 años en el campo de la protección radiológica. En el caso particular del Jefe de un SPR o UTPR para dar servicio exclusivamente a instalaciones de rayos x con fines de diagnóstico médico, se requiere una experiencia mínima de 6 meses en el control y verificación de la seguridad radiológica de estas instalaciones

- Aptitud médica: Se deberá disponer de un certificado de aptitud para realizar las actividades que implican riesgo de exposición asociado al puesto de trabajo de acuerdo con lo establecido en el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes

Para la solicitud del Diploma, el interesado se deberá dirigir, mediante instancia, al presidente del CSN adjuntando la documentación justificativa sobre su formación, experiencia, aptitud médica, pago de las tasas correspondientes y la certificación del titular de la entidad proponiendo a la persona que se ha de responsabilizar del SPR o UTPR.

El solicitante será sometido a un examen de aptitud que consistirá en una prueba teórica y una práctica, de acuerdo con los temas que se relacionan en la misma Instrucción. El Tribunal designado al efecto por el CSN, delimitará la amplitud de las pruebas, pudiendo incluso eximir de la realización de alguna de ellas, en función del alcance del Diploma solicitado o de la experiencia y formación específica acreditada por el solicitante.

El Diploma de Jefe de SPR o UTPR será específico para una entidad determinada y para las actividades autorizadas a dicha entidad, por tanto, cualquier modificación que afecte a las condiciones de concesión de dicho Diploma, requerirá una nueva solicitud. El cese de actividades, requerirá la comunicación inmediata al CSN.

El candidato a Jefe de un SPR perteneciente a cualquier Centro Sanitario, deberá ser **especialista en Radiofísica Hospitalaria**, tal y como se ha indicado con anterioridad. (1)

Requisitos para la obtención del reconocimiento de Técnico Experto en Protección Radiológica

Para la obtención del reconocimiento de técnico experto en protección radiológica, se requiere una titulación mínima de Formación Profesional de grado superior o equivalente, valorándose las especialidades relacionadas con la aplicación de las radiaciones ionizantes, o bien formación adecuada en materia de seguridad y protección radiológica. Así mismo, se requiere un conocimiento sobre los fundamentos y la tecnología de la protección radiológica, en función de la actividad a desarrollar, distinguiéndose dos modalidades de instalaciones:

- SPR de cualquier Instalación y UTPR de carácter general
- Instalaciones que operan solo al amparo del Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos x con fines de diagnóstico médico

En la mencionada Instrucción del CSN IS-03 (12) sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes, se incluyen los programas de formación teórica y los contenidos de las clases prácticas de ambas modalidades, equivalentes cada uno de ellos, a un curso de 40 horas de duración (30 horas teóricas y 10 de prácticas).

En cuanto a la experiencia y entrenamiento, se requiere un mínimo de 3 meses en las tareas propias de la modalidad elegida, de los cuales, al menos uno, corresponderá a prácticas sobre las tareas específicas del puesto de trabajo a desempeñar. Si el puesto de trabajo requiere ser clasificado como trabajador expuesto a radiaciones ionizantes, se deberá disponer del correspondiente certificado de aptitud médica

El reconocimiento de “técnico experto en protección radiológica” se realiza mediante certificación del Jefe del SPR o UTPR correspondiente, sin intervención directa del CSN.

La actualización de la normativa en materia de protección radiológica, la puesta en marcha de nuevas tecnologías que requieran el uso de radiaciones ionizantes, la adquisición de equipamiento y, en general, la aplicación

del criterio de optimización, exigirá una formación continuada. Con este fin, el Jefe del SPR y UTPR dispondrá de los programas de formación y entrenamiento continuados acordes con sus funciones y responsabilidad.

El SPR o UTPR tendrá constancia de las certificaciones efectuadas a sus técnicos expertos en protección radiológica.

Servicios de Física Médica y Protección Radiológica

Los Servicios de Física Médica o Radiofísica son departamento o servicios asistenciales existentes en los hospitales españoles para dar asistencia a las instalaciones donde se utilizan radiaciones ionizantes, fundamentalmente en Radioterapia.

Cuando el hospital dispone además de un SPR autorizado por el CSN, las actividades de radiofísica están integradas, en la mayoría de los casos, en un mismo departamento denominado prioritariamente Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica; de Protección Radiológica y Radiofísica; de Física Médica y Protección Radiológica, etc., que agrupa a todos los profesionales de esta materia y cuyo Jefe de Servicio es el Jefe del SPR que está en posesión del título de Radiofísica Hospitalaria y el Diploma de Jefe del SPR concedido por el CSN.

Generalmente, todos los integrantes del SPR, tanto los radiofísicos como los técnicos expertos en protección radiológica, realizan todas las actividades del Servicio en turnos rotativos, de modo que se puedan sustituir entre ellos en cada uno de los niveles para poder siempre cubrir las tareas en vacaciones, bajas o cualquier necesidad. También es muy frecuente que haya algunos de ellos fijos en Radioterapia pero dependientes del Jefe del Servicio, no del Jefe del servicio de Radioterapia.

Funciones de los Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica

Las funciones a desarrollar por un SPR o UTPR, están fundamentalmente encaminadas a cumplir lo especificado en el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, en el Real Decreto sobre instalación y utilización de aparatos de rayos x con fines de diagnóstico médico y en otras Disposiciones y Directivas de la Unión Europea en materia de protección radiológica aplicables. Así mismo, los SPR y UTPR están sometidos al cumplimiento de los condicionados específicos que imponga el CSN en sus respectivas Autorizaciones.

Estas funciones a desarrollar por los SPR y UTPR son las siguientes:

- El SPR o UTPR deberá participar en las fases de diseño, montaje, instalación, operación, modificación y



Protecciones en Fluoroscopia: protecciones plomadas, mampara colgada del techo

clausura de las instalaciones a las que dé servicio, en todos aquellos sistemas y dispositivos con implicación radiológica, así como en las medidas de protección contra las radiaciones ionizantes

- El SPR o UTPR deberá tener conocimiento, desde el inicio del trámite de adquisición hasta su recepción, de todo el material radiactivo y de los equipos radiactivos o productores de radiaciones ionizantes
- El SPR o UTPR participará en la estimación de los riesgos radiológicos, tanto reales como potenciales, asociados al funcionamiento real de las instalaciones y en caso de accidente, cuantificando dichos riesgos en términos de dosis
- El SPR o UTPR llevará a cabo la clasificación de las zonas de trabajo en función del riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes, señalizando dichas zonas convenientemente. Esta clasificación se mantendrá actualizada en función de las condiciones existentes
- El SPR o UTPR llevará a cabo la clasificación del personal que trabaje en la instalación teniendo en cuenta los riesgos radiológicos asociados a su puesto de trabajo y atendiendo a la clasificación de las zonas que haya establecido
- El SPR o UTPR, ha de establecer las normas de acceso, permanencia y trabajo en las zonas con riesgo radiológico, tales como:
 - Los requisitos para acceder a zonas vigiladas y controladas
 - Las medidas de control de acceso y permanencia en las zonas controladas
 - Los requisitos para acceder a zonas vigiladas y controladas
 - Las medidas de control de acceso y permanencia en las zonas controladas
 - Los criterios de uso del vestuario y equipos de protección respiratoria en zonas con riesgo de contaminación
 - Los niveles de contaminación superficial para la reutilización del vestuario y equipos de protección radiológica
 - La estimación de la contaminación en piel y los niveles derivados para proceder a su descontaminación.
 - Los criterios para el control radiológico de las personas y del material, a la salida de zonas donde exista control de acceso



Clasificación de Zonas

- Las prácticas no permitidas en zonas vigiladas y controladas
- Los procedimientos e instrucciones para prevenir la contaminación de las personas y minimizar la exposición externa, de acuerdo con la zona y la naturaleza del trabajo
- Los criterios y métodos para el seguimiento de las dosis individuales de los trabajadores
- El SPR o UTPR ha de realizar la vigilancia de los niveles de radiación y contaminación. Establecerá la frecuencia de la vigilancia y las situaciones que requieran vigilancias especiales, tipo de detectores a utilizar, evaluación y registro de los resultados
- El SPR o UTPR ha de realizar la vigilancia de efluentes y residuos radiactivos, atendiendo a los siguientes aspectos
 - Disponibilidad de dispositivos o sistemas para el almacenamiento y tratamiento, si procede, de residuos radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos, tales como los sistemas de ventilación y filtrado
 - Vigilancia radiológica del almacenamiento y tratamiento, si procede, de los residuos radiactivos
 - Los límites de evacuación de efluentes líquidos y gaseosos, según lo especificado en cada caso por el CSN con objeto de la aplicación del criterio ALARA
 - En relación con los residuos sólidos generados en instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados, se han de identificar los que se pueden gestionar en la propia instalación de acuerdo con la Orden del Ministerio de Economía ECO/1449/2003 de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo, estableciendo el procedimiento de gestión, y los que han de ser retirados por una empresa autorizada (13)
 - En general, en relación a los residuos radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos, su clasificación, almacenamiento, evacuación o retirada por una empresa autorizada, se llevará a cabo en base al criterio de emplear tiempos máximos de almacenamiento, compatibles con la seguridad física y radiológica de las instalaciones donde se almacenen
- El SPR o UTPR, efectuará el mantenimiento, verificación y calibración de los sistemas de detección y medida de las radiaciones ionizantes. Para ello, se establecerá un programa de verificaciones y calibraciones, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, recomendaciones del laboratorio de calibración legalmente acreditado que efectúe las mismas, resultados de las verificaciones periódicas, amplitud y severidad de uso, condiciones ambientales, exactitud buscada en la medida, etc. El programa de calibraciones y verificaciones, ha de quedar recogido en un procedimiento escrito.
- El SPR o UTPR llevará una vigilancia del control dosimétrico del personal expuesto de la instalación a la que de servicio y de las dosimetrías de área que se efectúen en la instalación y llevará un registro de todos estos datos dosimétricos. La lectura de los dosímetros se realizará en un Servicio de Dosimetría autorizado por el CSN. Si se produce alguna superación de los límites de dosis establecidos, el SPR o UTPR deberá investigar las causas, tales como anomalías, incidentes o accidentes que se pudieran haber producido en la instalación
- El SPR o UTPR exigirá el historial dosimétrico previo, si existiese, a los trabajadores expuestos que se incorporen a la instalación
- El SPR o UTPR comprobará que los trabajadores expuestos tienen la correspondiente aptitud médica expedida por el Servicio de Prevención y solicitará periódicamente de dicho Servicio la continuidad de la actitud médica de los profesionales. Así mismo, vigilará que a los trabajadores expuestos de categoría A, se les realicen el reconocimiento médico anual.
- El SPR o UTPR conocerá y analizará el impacto radiológico derivado del funcionamiento de la instalación a la



Gafas plomadas con protección lateral

radiológica. Esta formación será como mínimo en aspectos referentes al tipo de radiaciones, riesgos de irradiación y contaminación, sistemas de detección y medida de las radiaciones, dosimetría, límites de dosis establecidos en la reglamentación, efectos biológicos de las radiaciones y normas de trabajo en presencia de radiaciones ionizantes. Esta formación irá dirigida a los siguientes trabajadores:

Esta formación irá dirigida a los siguientes trabajadores:

- A los componentes de los propios Servicios o Unidades Técnicas de Protección Radiológica
- Al personal de las instalaciones a las que da servicio de protección radiológica, relacionando los conocimientos con el riesgo asociado a su puesto de trabajo e incluyendo una formación continuada
- A los trabajadores externos

Se entiende como trabajador externo, de acuerdo con lo que se establecía en el Real Decreto 413/1997, actualmente Derogado, cualquier trabajador clasificado como expuesto, según lo dispuesto en la Reglamentación sobre Protección de la Salud, que efectúe una intervención de cualquier carácter, en zona controlada de una instalación y que esté empleado de forma temporal o permanente por una empresa externa, incluidos los trabajadores en prácticas profesionales, aprendices o estudiantes o que presten sus servicios en calidad de trabajador por cuenta propia. (16)

Así mismo, se entiende por empresa externa, según la misma reglamentación, cualquier persona física o jurídica distinta del personal de la instalación, que haya de efectuar un trabajo de cualquier tipo en una zona controlada de una instalación. Esta formación ha de ser específica para la instalación en la que los trabajadores van a intervenir y para la actividad concreta a realizar.

- Optimización de la protección radiológica. Teniendo en cuenta que la aplicación del criterio de optimización ha de partir de un compromiso formal y real del titular de la instalación, y que la distribución de responsabilidades debe difundirse a lo largo de toda la línea jerárquica, las funciones del SPR o UTPR a este respecto serán las siguientes:
 - Recomendar los programas de actuaciones que garanticen que las dosis que pudiera recibir el personal sean tan bajas como sea razonablemente posible
 - Realizar un programa de vigilancia y control de las exposiciones de los trabajadores, tanto a nivel individual, como por Servicios, Departamentos, grupos, trabajos, tareas, etc.

que preste servicio. En el supuesto de una situación accidental, conocerá y asumirá las funciones establecidas en el Plan de Emergencia correspondiente

- El SPR o UTPR comunicará al CSN por delegación del titular, las anomalías e incidentes de acuerdo ocurridos en la instalación, de acuerdo con lo establecido en la Instrucción IS-18 de 2 de abril de 2008 (14) del Consejo de Seguridad Nuclear, para exigir a los titulares de las instalaciones radiactivas la notificación de sucesos e incidentes, con objeto de actuar y clasificar el evento en la escala internacional de sucesos (INES) (1914) (15)

- El SPR o UTPR establecerá cual ha de ser la formación y entrenamiento del personal en materia de protección

- Identificar los lugares, operaciones y condiciones de trabajo que pueden causar exposición significativa
- Participar en la revisión de las modificaciones de diseño de las instalaciones que puedan afectar a la exposición del personal, y revisar cambios en los procedimientos y métodos de trabajo
- Participar en el desarrollo de los programas de entrenamiento que supongan manipulación del material radiactivo
- Elaboración de un Manual de Protección Radiológica que incluya los procedimientos de ejecución de las actividades que tienen que desarrollar.

El **Manual de Protección Radiológica (MPR)**: Es un documento que contiene las normas básicas de protección radiológica aplicables a las instalaciones a las que presten servicio. En el mismo deben quedar claramente definidas las medidas fundamentales de protección radiológica, teniendo en cuenta el número y tipo de las instalaciones pertenecientes a cada entidad. Asimismo, deberá establecerse un Organigrama que permita saber en todo momento la línea de responsabilidad para cualquier tipo de actuación.

El Manual de Protección Radiológica es un documento imprescindible para el correcto funcionamiento de una instalación y que tiene por objeto:

- Establecer y dar a conocer las normas básicas de protección radiológica que permitan desarrollar las actividades de la instalación de forma segura y acorde con nuestra legislación
- Definir los riesgos de los trabajos con radiaciones ionizantes y el modo de protegerse en cada caso
- Establecer la responsabilidad en materia de protección radiológica de los distintos componentes de la organización de la instalación, desde la dirección al último trabajador implicado
- Establecer la coordinación entre el Servicio o Unidad Técnica de protección radiológica y el resto de las unidades organizativas o estamentos de la instalación con implicación radiológica en sus funciones
- Describir los controles técnicos y administrativos necesarios
- Las actividades definidas en el Manual se desarrollarán en procedimientos

Funciones establecidas en el Reglamento de Rayos X Médicos. Participación de las UTPR en instalaciones de uso Médico (7)

El Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico, regula también en su Capítulo V (7) las actividades de los SPR y UTPR, previamente autorizados por el CSN, en lo referente a sus actuaciones en instalaciones de rayos X médicos. Si la prestación de servicios de protección radiológica se realiza en instalaciones con el mismo titular que la entidad especializada, esta obtendrá una autorización como SPR. Cuando la prestación de servicios de protección radiológica sea a terceros, requerirá disponer de autorización como UTPR.

Esta prestación a terceros de servicios especializados en materia de protección radiológica con trascendencia pública que efectúan las UTPR autorizadas por el CSN, comprenden las funciones recogidas e indicadas anteriormente de conformidad con nuestra reglamentación y, en particular, la realización de las certificaciones contempladas en los artículos 12.1.c), 18.d) y 18.d) del Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico, y requieren disponer de autorización específica como UTPR. Dichas certificaciones son las siguientes:

- Certificación expedida por un SPR o UTPR que asegure que los blindajes y distribución de las salas que

constituyen la instalación son adecuadas para los equipos que albergan, atendiendo a la carga de trabajo estimada de los mismos y a las zonas colindantes con dichas salas. Esta certificación es necesaria para efectuar la Declaración y Registro de las instalaciones de rayos X de diagnóstico médico

- Realizar como mínimo anualmente, y siempre que se modifiquen las condiciones habituales de trabajo o se detecte alguna irregularidad que afecte a la protección radiológica, la vigilancia de los niveles de radiación en los puestos de trabajo y en las áreas colindantes accesibles al público
- Emitir un **Certificado de Conformidad** de la Instalación que exprese que se mantienen las características materiales existentes en la inscripción vigente de la instalación en el “Registro de Instalaciones de Rayos X de Diagnóstico Médico”, que se da cumplimiento al Programa de Protección Radiológica de la instalación, indicando en su caso las desviaciones apreciadas.

Este Certificado de Conformidad deberá obtenerse con periodicidad anual para las instalaciones de tipo 1 del artículo 17 del Reglamento, con periodicidad bienal para las de tipo 2 y quinquenal para las de tipo 3 (dentales intraorales)

La experiencia ha demostrado que tanto los SPR para el centro sanitario, como las UTPR para sus clientes, elaboran el Programa de Protección Radiológica que tienen que implantar las instalaciones de rayos X y el Programa de Garantía de Calidad a remitir a la Autoridad Sanitaria competente, requerido en el Real Decreto en el que se establecen los criterios de control de calidad en radiodiagnóstico (9). Estos dos programas recogen algunos aspectos comunes, como son la realización de las medidas de radiación en la instalación y la realización de los controles de calidad de los equipos, a realizar por los SPR y UTPR, funciones que constan en ambos programas, por lo que, con el fin de evitar duplicidades, podrán redactarse en un único documento, aunque por norma general, no se suele hacer.

Además de lo expuesto, el vigente Reglamento de rayos X de diagnóstico médico, para las UTPR establece que: Los contratos de prestación de servicios de las UTPR con los titulares de las instalaciones, han de efectuarse por escrito y expresarán la aceptación por parte del titular de las instalaciones de la situación en la que la UTPR debe informar al Consejo de Seguridad Nuclear de las circunstancias adversas a la seguridad de las que tengan conocimiento en el desarrollo de sus funciones. Así mismo, las UTPR no podrán participar a través de sus directivos o de su personal, ni estar participadas por entidades que sean propietarias o realicen cualquier tipo de actividad cuya finalidad pueda ser objeto de las certificaciones en materia de protección radiológica que están autorizadas a realizar.

La autorización de un SPR y UTPR se deberá solicitar al CSN, haciendo constar detalladamente las actividades para las que se solicita la autorización y se presentará además la siguiente documentación:

- Identificación y razón social de la empresa
- Dotación de personal técnico y su titulación, cualificación y experiencia, incluyendo al menos un candidato para la obtención del Diploma que otorga el CSN
- Medios materiales de los que dispone
- Manual de Protección Radiológica
- Programa de gestión de la calidad

La solicitud se dirigirá al Presidente del CSN y deberá estar firmada por el titular o figura representativa a nivel gerencial o de dirección en quien haya delegado, se acompañará del documento acreditativo del titular de la

práctica, de la documentación descriptiva, tanto del Servicio o Unidad Técnica, como del ámbito de actuación en el que desempeñarán sus actividades.

Además de los deberes establecidos en el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, corresponde al Jefe del SPR y UTPR lo siguiente (5):

- Responsabilizarse con su firma de todas las certificaciones que extienda el Servicio o Unidad y de los informes remitidos a la administración y a los titulares de las instalaciones a las que preste sus servicios
- Conservar los registros
- Velar por el cumplimiento del Manual de Protección Radiológica y del Programa de Gestión de la calidad
- Certificar la cualificación de los técnicos expertos y programar su formación continuada
- Enviar al CSN, en el primer trimestre de cada año natural un informe del año precedente cuyo contenido comprenderá: las actividades realizadas, el estado de los recursos disponibles y un resumen de los resultados del servicio de dosimetría contratado
- Informar al titular de la instalación de todas las actuaciones, técnicas o administrativas que realice en virtud de las obligaciones que le han sido encomendadas
- Informar al titular de las circunstancias adversas a la seguridad de que tengan conocimiento en el desarrollo de sus funciones y proponerle las medidas correctivas que estime oportunas
- Informar al CSN de la no implantación en su plazo de las medidas correctivas aludidas, y facilitar al CSN y a las autoridades competentes cuantos datos e informes les sean solicitados en relación con sus actuaciones



Protectores plomados. Delantal 2 piezas

Contenido del Manual de Protección Radiológica

El contenido mínimo de este documento está recogido, entre otras, en las Guías de Seguridad del CSN 7.6 y 7.3, (17) (18) y ha de ser el siguiente:

- Introducción, donde conste su objeto, ámbito de aplicación, disponibilidad y revisión del Manual
- Organización y Responsabilidades, tanto del personal que integra el servicio o Unidad como del resto de los estamentos implicados, relación con los órganos de dirección y demás departamentos de la instalación a la que dé servicio
- Medidas fundamentales de protección radiológica
 - Riesgos radiológicos de las instalaciones
 - Clasificación del personal
 - Clasificación de las zonas de trabajo
 - Vigilancia radiológica de áreas
 - Verificaciones a efectuar en la instalación



- Normas de acceso, permanencia y trabajo en las distintas zonas con significado radiológico
- Vigilancia de los trabajadores
 - Vigilancia, determinación y registro de las dosis del personal
 - Vigilancia y determinación de la dosis externa: dosimetría oficial; dosimetría operacional; dosimetría de área
 - Vigilancia y determinación de la dosis interna
 - Normas de actuación en caso de superación de los límites de dosis y actuaciones a seguir en el caso de que alguna persona hubiese sufrido un accidente radiológico
 - Registro de dosis
 - Vigilancia de la contaminación en piel
- Vigilancia Médica
- Vigilancia del público
- Vigilancia y control de equipos y material radiactivo
 - Normas generales
 - Recepción de equipos y fuentes radiactivas
 - Movimiento del material radiactivo
 - Inventario y almacenamiento del material radiactivo
- Vigilancia de efluentes y residuos radiactivos
 - Gestión de residuos radiactivos; identificación y método empleado en la gestión de materiales de deshecho con contenido radiactivo que se gestione en la misma instalación
 - Gestión de efluentes radiactivos
- Formación y entrenamiento en materia de protección radiológica: contendrá las líneas generales de los planes de formación para la capacitación del personal del propio Servicio o Unidad, así como de todos los trabajadores expuestos, de acuerdo con su nivel de responsabilidad
- Métodos de optimización de la protección radiológica
- Definiciones y conceptos básicos de protección radiológica

Finalmente, el Manual ha de contener la identificación de las materias que han de ser desarrolladas en procedimientos, la emisión, revisión y aprobación de los mismos.

En los Manuales de Protección Radiológica de instalaciones radiactivas médicas, fundamentalmente en los pertenecientes a los SPR de hospitales del Sistema Nacional de Salud, en lo referente al paciente hospitalario y la orientación de su tratamiento radiológico, hace aconsejable incluir un capítulo en el mencionado Manual, donde se refleje la legislación específica en relación a los Programas de Garantía de Calidad en instalaciones de Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Radioterapia, donde esté incluida la medida de la dosis a dichos pacientes, para tener una visión completa de la protección radiológica en el ámbito sanitario. De todas formas, en relación con esta cuestión, no hay que olvidar que la protección radiológica de los pacientes es competencia de las Autoridades Sanitarias.

Límites de dosis establecidos en el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes

Entre las funciones de los Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica, se encuentra la formación del personal propio y de las instalaciones a las que da servicio en materia de protección radiológica, siendo fundamental el conocimiento por parte del personal de las instalaciones de los límites de dosis reglamentados para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, en el embarazo y lactancia, para las personas en formación y estudiantes y para los miembros del público.

Teniendo en cuenta la importancia de este asunto, a continuación se indican brevemente, como recordatorio, los cambios en los límites de dosis introducidos en el Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, publicado en diciembre de 2022 y que sustituye al Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes de julio de 2001, que ha sido derogado de acuerdo a la Disposición Derogatoria Única del primero de los Reglamentos mencionados.

Límites de dosis para los Trabajadores expuestos

El vigente Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes establece los siguientes Límites de Dosis:

- Dosis efectiva para los trabajadores expuestos: 20 mSv por año oficial
- Dosis equivalente para el cristalino: 100 mSv a lo largo de 5 años oficiales consecutivos, y una dosis máxima de 50 mSv en un único año oficial

Límites de dosis para personas en formación y estudiantes con edades comprendidas entre 16 y 18 años

- Dosis equivalente para el cristalino: 15 mSv por año oficial

El resto de los Límites de Dosis establecidos en este Reglamento sobre Protección de la Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes publicado en diciembre de 2022, permanecen igual que los que establecía el derogado Reglamento sobre Protección Sanitaria contra radiaciones ionizantes.

Bibliografía

REFERENCIAS

1. Real Decreto 183/2008 de 8 de febrero, por el que se determinan y clasifican las especialidades en Ciencias de la Salud y se desarrollan determinados aspectos del sistema de formación sanitaria especializada
2. Real Decreto 783/2001 de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes
 - Real Decreto 2519/1982 (1ª publicación de este Reglamento. Derogado)
 - Real Decreto 53/1992 (2ª publicación de este Reglamento. Derogado)
3. Real Decreto 1029/2022 de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección de la

Salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (Real Decreto de transposición parcial de la Directiva 2013/59/EURATOM a legislación nacional)

- Real Decreto 2519/1982 (1ª publicación de este Reglamento. Derogado)
 - Real Decreto 53/1992 (Reglamento Derogado)
 - Real Decreto 783/2001 (último Reglamento de PR derogado)
4. Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo UE de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen Normas de Seguridad Básica para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes
 5. Real Decreto 1132/1990 de 14 de septiembre, por el que se establecen medidas fundamentales de protección radiológica a las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos (actualmente derogado)
 6. Real Decreto 220/1997 de 14 de febrero, por el que se crea y se regula la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria con carácter de título oficial de postgrado
 7. 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
 - Real Decreto 1891/1991 de 30 de diciembre, sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico (actualmente derogado)
 8. Real Decreto 601/2019 de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas
 - Real Decreto 815/2001 de 13 de julio, sobre justificación del uso de radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas
 9. Real Decreto 1976/1999 de 23 de diciembre por el que se establecen los criterios de calidad en Radiodiagnóstico
 10. Real Decreto 637/2023 de 18 de julio, por el que se establecen los criterios de calidad y seguridad de las unidades asistenciales de Medicina Nuclear
 - Real Decreto 1841/1997 de 5 de diciembre por el que se establecen los criterios de calidad en Medicina Nuclear (actualmente derogado)
 11. Real Decreto 1566/1998 de 17 de julio, por el que se establecen los criterios de calidad en Radioterapia
 12. Instrucción IS-03 de 6 de noviembre de 2002 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes
 13. Orden ECO/1449/2003 de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo
 14. Instrucción IS-18 de 2 de abril de 2008 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre los criterios aplicados por el Consejo de Seguridad Nuclear para exigir a los titulares de las instalaciones radiactivas la notificación de sucesos o incidentes radiológicos
 15. Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES) de IAEA. Manual del usuario 2008. IAEA.
 16. 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. Derogado con efectos desde el 22-12-2022 por la Disposición Derogatoria Única del Real Decreto 1029/2022 de 20 de diciembre

17. Guía de Seguridad 07-03 Revisión 1 del Consejo de Seguridad Nuclear. Bases para el establecimiento de los Servicios o Unidades Técnicas de Protección Radiológica. 1998
18. Guía de Seguridad 07-06 Revisión 1 del Consejo de Seguridad Nuclear. Contenido de los Manuales de Protección Radiológica de instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear. Abril 2016

Bibliografía consultada

- Instrucción IS-08 de 27 de julio de 2005 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre los criterios aplicados por el CSN para exigir a los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas, el asesoramiento específico en protección radiológica
- Instrucción IS-28 de 22 de septiembre de 2010 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre las especificaciones técnicas de funcionamiento que deben cumplir las instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría
- Instrucción IS-17 de 30 enero de 2008 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre la homologación de cursos o programas de formación para el personal que dirija u opere los equipos de rayos x con fines de diagnóstico médico y acreditación del personal de dichas instalaciones
- Guía de Seguridad 05.11 del Consejo de Seguridad Nuclear. Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos x para diagnóstico. 1990
- Conferencia Ibero Americana de Protección Radiológica en Medicina, CIPRaM 2016, SEFM y SEPR. Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica, C. Álvarez
- Fundamentos de Física Médica, Volumen 7, Protección Radiológica Hospitalaria. Sociedad Española de Física Médica. 2016
- Manual General de Protección Radiológica. Documento del FORO permanente de protección radiológica en el medio sanitario. CSN – SEPR – SEFM 2003. Página web CSN
- SEPR – SERAM. Protocolo Español de control de calidad el radiodiagnóstico. Revisión de 2011
- Procedimientos e Informes internos del CSN

Eliseo Vañó. *Hospital Clínico. San Carlos. Madrid*

Historia de la aportación española a la protección radiológica del paciente en el diagnóstico y terapia con radiaciones ionizantes, con referencia al diseño de las instalaciones, y la protección y vigilancia radiológica del paciente durante su diagnóstico y tratamiento.

La Protección Radiológica (PR) del área médica en España, como en otros países, se desarrolló inicialmente en paralelo a la Radioterapia. Los servicios hospitalarios de Oncología Radioterápica fueron los primeros en incorporar a los físicos en sus plantillas, en los años 1963-1964. La presencia de físicos en los servicios clínicos de imagen, especialmente en Radiodiagnóstico, se retrasó hasta varios años después.

En la década de los 70, se convocaron los primeros concursos para incorporar profesores de Física Médica en las Facultades de Medicina y se incluyeron temas de PR en los programas docentes de esa asignatura para los estudiantes de Medicina. Algunas Facultades de Medicina, como la de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), ofrecieron durante algunos años, una asignatura optativa sobre PR en el área médica. En la UCM, los físicos que se implicaron en esa docencia, se integraron en el Departamento de Radiología y Medicina Física.

En la década de los 80, se crearon las primeras cátedras de Física Médica en las Facultades de Medicina españolas y se iniciaron también varias colaboraciones internacionales en el ámbito de la PR en el uso médico de las radiaciones ionizantes en radiodiagnóstico. En 1982, el Prof. Eliseo Vañó accedió a la Cátedra de Física Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y se consolidó el trabajo de un nutrido grupo de profesores, físicos, que posteriormente accederían, muchos de ellos, al título de "Radiofísicos Hospitalarios". En 1984 se creó el Servicio de Física Médica y Radioprotección del Hospital Clínico San Carlos de Madrid, siendo el Prof. E. Vañó, nombrado jefe de ese Servicio. En junio de 1989, se publicó en el Boletín Oficial del Estado, el concierto entre la UCM y el Instituto Nacional de la Salud (INSALUD) en el que ya se incluyó el "Servicio de FM y Radioprotección" del Hospital Clínico San Carlos.

En el año 1986 la UCM firmó un primer contrato de investigación con la Comisión Europea (CE) para el trienio 86-89 con el título "*Evaluation of radiation risks from diagnostic radiology*" en el que se implicaron la mayor parte de los físicos integrados en el Grupo de Física Médica del Departamento de Radiología.

Ese proyecto fue el inicio de muchas actividades de PR de los pacientes en Radiodiagnóstico e Intervencionismo en el área de Madrid, y el comienzo de una fructífera colaboración con otros grupos europeos.

En 1989, la UCM firmó un acuerdo con el Ministerio de Sanidad sobre la "Estimación de la dosis efectiva que supone el radiodiagnóstico en el área de Madrid" para poder aportar información a UNSCEAR.

Se continuó participando en los programas de investigación europeos en el área de la PR en radiodiagnóstico y radiología intervencionista, durante cerca de 30 años, hasta 2016, con la implicación de muchos de los profesores de Física Médica, que en esos años seguían en el Departamento de Radiología y Medicina Física de la UCM.

Se participó en el programa sobre “Optimización de la Protección Radiológica en Radiodiagnóstico” entre los años 1989 y 1992. En los años 1992-1994 se colaboró con Bélgica, Holanda, Francia, Reino Unido e Italia en las evaluaciones de dosis a los pacientes en radiodiagnóstico progresando en la metodología de obtención de los niveles de referencia de dosis para los procedimientos de imagen. Entre 1993 y 1995 se participó en un programa europeo para la evaluación del riesgo radiológico en procedimientos intervencionistas. Entre los años 1997 y 2000, se colaboró con los programas europeos de radiología pediátrica, mamografía y radiología digital (programa DIMOND = “*Digital Imaging: measures for optimization of radiological information content and dose*”). Entre 1999 y 2000 se desarrolló el programa MARTIR (“*Multimedia and Audio-Visual Radiation Protection Training in Interventional Radiology*”). Entre los años 2005-2007 se participó en el programa SENTINEL (“*Safety and Efficacy for New Techniques and Imaging using New Equipment to Support European Legislation*”).

En 1995, E. Vañó colaboró estrechamente con el Ministerio de Sanidad y con la Dra. Mercedes Bezares, incorporándose en esos años al Grupo de Expertos del Art. 31 de EURATOM para participar en la elaboración de la Directiva de Protección Radiológica de los pacientes. En el año 1998, se incorporó a uno de los grupos de trabajo de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) para preparar un documento sobre PR en Intervencionismo y posteriormente, en 2001, fue elegido miembro del Comité 3 de la ICRP, lo que permitió orientar parte del trabajo del Grupo de Física Médica de la UCM, en los temas considerados prioritarios en Europa y en la ICRP.

En 1989, el Grupo de Física Médica de la UCM realizó sus primeras publicaciones internacionales en los temas de protección, evaluación de dosis a los pacientes y de control de calidad en los equipos de imagen de Radiodiagnóstico [Vañó et al. 1989; Guibelalde et al. 1990; Calzado et al. 1991; Ruiz et al. 1991; Vañó et al. 1993; Moran et al. 1994; Guibelalde et al. 1994; González et al. 1995; Chevalier et al. 1996; Delgado et al. 1997; Chevalier et al. 2004].

Se colaboró con la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM), con la SERVEI (Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista) y posteriormente, con la Sociedad Española de Cardiología (SEC) y la Sección de Hemodinámica, en el área del intervencionismo.

En la década de los 90 y la primera década de los años 2000, se publicaron los primeros datos sobre las exposiciones médicas en España para el informe UNSCEAR sobre exposiciones médicas [Vañó et al. 2000] y varios trabajos sobre control de calidad de los equipos de rayos X y su impacto en la dosimetría a los pacientes. Se obtuvieron también datos sobre las dosis de radiación en pediatría, en mamografía, en tomografía computarizada, en radiología dental y en intervencionismo, y se presentaron varias tesis doctorales en la UCM sobre estos temas.

En esos años, algunos de los profesores de Física Médica de la UCM, se especializaron en estas áreas de actividad: Margarita Chevalier y



Pilar Morán en mamografía, Alfonso Calzado en tomografía computarizada, Victor Delgado en cálculos de espectros, Eduardo Guibelalde en calidad de imagen, Eliseo Vañó, Luciano González y José M. Fernández, en intervencionismo, etc.

En el año 1995 se publicó en España, el Real Decreto 2071/1995, de 22 de diciembre, por el que se establecían los criterios de calidad en radiodiagnóstico [Decreto RD, 1996]. La colaboración de la SERAM, de la SERVEI y de varios físicos que ya tenían experiencia en las áreas del radiodiagnóstico y del intervencionismo.

En el año 2001 se celebró, promovido por el OIEA y el Dr. Abel González, en colaboración con el Prof. Rafael Ruiz Cruces, la “Conferencia de Málaga” sobre sobre “*Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy*” celebrada con la colaboración de la Universidad de esa ciudad, del 26–30 de marzo de ese año [IAEA, 2001]. Esa conferencia se celebró con la colaboración del OIEA y la Organización Mundial de la Salud (OMS) y tuvo un gran impacto en Latino América y otros países de Europa, Asia y África, en los temas de PR de los pacientes.

En 2008 Se publicó un trabajo con la SERVEI sobre “*A pilot experience launching a national dose protocol for vascular and interventional radiology*” [Vañó et al. 2008] siendo co-autores varios prestigiosos radiólogos intervencionistas de esos años.

La SERVEI apoyó la participación del Grupo de Física Médica de la UCM en el programa europeo DIMOND y tuvo una actuación relevante en la puesta en marcha de los cursos de formación en PR de “segundo nivel” para intervencionismo desde el año 2001 [Vañó et al, 2003]. La experiencia de estos cursos, recomendados posteriormente por la ICRP, se publicó en el *British Journal of Radiology* en 2003 [Vañó et al. 2003]. En 2006, el “Diario Médico” publicó un artículo bajo el título “La radiología en España, más segura que en Estados Unidos” en el que se destacaba que “La Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista (SERVEI) estaba ultimando las conclusiones de un estudio sobre la seguridad radiológica en España. La principal revelación es que los niveles de radiación son un 30 por ciento más bajos que en Estados Unidos”.

Los aspectos de la PR de los pacientes se potenciaron con la Directiva Europea 97/43/EURATOM, del 30 de junio de 1997, sobre exposiciones médicas [Directiva, 1997]. En ella se incorporaba la figura del “Experto en Física Médica” y se refería también al resto de especialidades médicas que utilizaban radiaciones ionizantes, adicionalmente a la Oncología Radioterápica. España tuvo que elaborar distintas normas para la transposición de esa Directiva a la legislación española. En su articulado sobre “Formación”, indicaba que “los Estados miembros fomentarán el que se introduzca un curso de protección radiológica en el programa de formación básico de las facultades de medicina y de odontología”.

En 1997, España publicó el Real Decreto 220/1997, de 14 de febrero, por el que se creaba el título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria [Decreto RFH, 1997].

En el año 2002 se publicó la primera versión del “Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico” [Protocolo RD, 2002] elaborado por un grupo de trabajo coordinado por E. Vañó y Manuel Alonso. Participaron: M. Chevalier, L. González, E. Guibelalde, I. Hernando, P. López-Franco, P. Morán, P. Rodríguez, M.L. España, J. Pifarré, C. Núñez, J.M. Fernández-Soto, P. Gómez-Llorente y J.M. Jiménez-González.

Las estrechas relaciones con la SERVEI y con la SEC permitieron obtener y publicar en sus respectivas Webs unos primeros “niveles de referencia para diagnóstico” que después se han ido actualizando periódicamente.

La nueva Directiva 2013/59/EURATOM del 5 de diciembre de 2013, sobre Normas Básicas de Seguridad [Directiva, 2013] ha actualizado, al cabo de 16 años, los contenidos de la Directiva de 1997 [Directiva, 1997] y España, sigue completando su legislación, para adaptarse a la normativa europea en los aspectos de la PR de los pacientes.

REFERENCIAS

Vañó et al 1989. Vañó E, González L, Calzado A, Morán P, Delgado V. Some indicative parameters on diagnostic radiology in Spain: first dose estimations. *Br J Radiol.* 1989 jan;62(733):20-6. doi: 10.1259/0007-1285-62-733-20. PMID: 2914187.

Guibelalde et al. 1990. Guibelalde E, Vañó E, Llorca AL. Quality assurance of viewing boxes: proposal for establishing minimum requirements and results from a Spanish quality control programme. *Br J Radiol.* 1990 jul;63(751):564-7. doi: 10.1259/0007-1285-63-751-564. PMID: 2390693.

Calzado et al, 1991. Calzado A, Vañó E, Morán P, Castellote C, Ruiz S, González L. Estimation of doses to patients from "complex" conventional X-ray examinations. *Br J Radiol.* 1991 jun;64(762):539-46. doi: 10.1259/0007-1285-64-762-539. PMID: 2070186.

Ruiz et al 1991. Ruiz MJ, González L, Vañó E, Martínez A. Measurement of radiation doses in the most frequent simple examinations in paediatric radiology and its dependence on patient age. *Br J Radiol.* 1991 oct;64(766):929-33. doi: 10.1259/0007-1285-64-766-929. PMID: 1954535.

Vano et al. 1993. Vañó E, Velasco A, Morán P, González L, Alvarez Pedrosa CS. *Evolution of diagnostic radiology in a big hospital during a 5 year period, and the derived collective dose.* *Br J Radiol.* 1993 oct;66(790):892-8. doi: 10.1259/0007-1285-66-790-892. PMID: 8220972.

Moran et al. 1994. Morán P, Chevalier M, Vanó E. Comparative study of dose values and image quality in mammography in the area of Madrid. *Br J Radiol.* 1994 jun;67(798):556-63. doi: 10.1259/0007-1285-67-798-556. PMID: 8032809.

Guibelalde et al 1994. Guibelalde E, Fernández JM, Vañó E, Llorca A, Ruiz MJ. Image quality and patient dose for different screen-film combinations. *Br J. Radiol.* 1994 feb;67(794):166-73. doi: 10.1259/0007-1285-67-794-166. PMID: 8130979.

Gonzalez et al 1995. González L, Vañó E, Ruiz MJ. Radiation doses to paediatric patients undergoing micturating cystourethrography examinations and potential reduction by radiation protection optimization. *Br J Radiol.* 1995 mar;68(807):291-5. doi: 10.1259/0007-1285-68-807-291. PMID: 7735769.

Chevalier et al. 1996. Chevalier M, Morán P, Vañó E. *Comparative study of dose values and image quality in mammography in the Madrid area.* *Br J. Radiol.* 1996 jan;69(817):42-8. doi: 10.1259/0007-1285-69-817-42. PMID: 8785620.

Decreto RD, 1996. Real Decreto 1976/1999, de 23 de diciembre, por el que se establecen los criterios de calidad en radiodiagnóstico. Acceso: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1999-24717#:~:text=El%20Real%20Decreto%202071%2F1995,sometidas%20a%20ex%C3%A1menes%20y%20tratamientos>

Decreto RFH, 1997. Real Decreto 220/1997, de 14 de febrero, por el que se crea y regula la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Acceso: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-4378>

Delgado et al. 1997. Delgado V, Ortiz P. *Determination of the energy fluence of diagnostic x-ray beams from field measurements of attenuation curves.* Med Phys. 1997 jul;24(7):1089-95. doi: 10.1118/1.598080. PMID: 9243471.

Directiva, 1997. Directiva 97/43/Euratom del Consejo, de 30 de junio de 1997, relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas, por la que se deroga la Directiva 84/466/Euratom. Acceso: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1997-81380>

Vaño et al. 2000. Vaño E, Tobarra, B y Bezares M. Los datos de las exposiciones médicas en España para el informe UNSCEAR 2000. Revista de Física Médica 2000; 1(0); 51-60.

IAEA, 2001. IAEA. *Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy. Proceedings of an International Conference Held in Málaga, Spain, 26–30 March 2001.* Available at: <https://www.iaea.org/publications/6357/radiological-protection-of-patients-in-diagnostic-and-interventional-radiology-nuclear-medicine-and-radiotherapy>

Protocolo RD, 2002. Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. Acceso: <https://www.sepr.es/comunicacion/publicaciones-sepr/guias-y-protocolos/202-protocolo-espanol-de-control-de-calidad-en-radiodiagnostico-2002>

Vaño et al 2003. Vaño E, Vargas F. *Training in radiological protection for interventional cardiology.* Rev Esp Cardiol. 2003 jan;56(1):111-2.

Vano et al. 2003. Vaño E, Gonzalez L, Canis M, Hernandez-Lezana A. *Training in radiological protection for interventionalists. Initial Spanish experience.* Br J Radiol. 2003 apr;76(904):217-9. doi: 10.1259/bjr/44376408. PMID: 12711640.

Chevalier et al. 2004. Chevalier M, Morán P, Ten JI, Fernández Soto JM, Cepeda T, Vaño E. *Patient dose in digital mammography.* Med Phys. 2004 sep;31(9):2471-9. doi: 10.1118/1.1784591. PMID: 15487727.

Vano et al. 2008. Vano E, Segarra A, Fernández JM, Ordiales JM, Simon R, Gallego JJ, del Cerro J, Casasola E, Verdú JF, Ballester T, Sotil J, Aspiazú A, García MA, Moreno F, Carreras F, Canis M, Soler MM, Palmero J, Ciudad J, Díaz F, Hernandez J, González M, Rosales P. *A pilot experience launching a national dose protocol for vascular and interventional radiology.* Radiat Prot Dosimetry. 2008;129(1-3):46-9. doi: 10.1093/rpd/ncn025. Epub 2008 feb 29. PMID: 18310098.

Directiva, 2013. Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. Acceso: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-80059>

Fernando Sierra. *HGU Gregorio Marañón. Madrid*

La protección radiológica del paciente en las aplicaciones médicas que emplean radiaciones ionizantes queda implícita desde sus inicios, en su propio objetivo fundamental, que es optimizar el balance entre el beneficio obtenido del procedimiento y el riesgo que entraña la exposición a las radiaciones; en el caso de la radioterapia, maximizando la probabilidad de control tumoral y minimizando la dosis en los tejidos sanos, lo que se busca mejorando la conformación de las distribuciones de dosis previstas y la precisión en la aplicación efectiva del tratamiento planificado.

Esto constituye el trabajo de los físicos desde el mismo momento en que entran en los servicios de radioterapia de los centros sanitarios en la década de 1960, pero no empieza a quedar explícito como obligación legislada hasta la publicación, en 1992, de lo que se conoce coloquialmente como el Real Decreto de protección al paciente (1), desarrollado algunos años después específicamente en los reales decretos que establecen el control de calidad en medicina nuclear (2) y radioterapia (3).

Se hará una descripción del progreso de la protección radiológica del paciente, en radioterapia y medicina nuclear, examinando distintos aspectos concretos en los que se han concentrado especialmente el trabajo y los logros de algunos profesionales, instituciones sanitarias y grupos de trabajo o investigación.

La caracterización correcta de los haces de radiación generados por los aceleradores es la base de toda la cadena dosimétrica que concluirá en la administración del tratamiento al paciente. En este aspecto, supuso un hito el trabajo de un buen número de profesionales, agrupados en el Comité de Dosimetría en Radioterapia de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM), presidido por Antonio Brosed, hasta llegar a la publicación en 1984 del Protocolo Español de dosimetría en radioterapia externa (4).

De manera similar, más tarde se trabajó en un protocolo que sirviera de apoyo a los profesionales, y que tratase de recoger de forma exhaustiva y útil los procedimientos recomendados para el control de calidad de los aceleradores, y estimulase su normalización en los centros sanitarios. El grupo de trabajo formado dentro de la SEFM y coordinado por Carmen Pinza y Françoise Llisó elaboró el documento que se publicó en 2008 (5).

Alcanzar la mayor precisión en la ejecución de los tratamientos, entendiendo por ello que la dosis absorbida en el paciente esté tan próxima como sea posible a la distribución prevista y aprobada, podría considerarse el eje central que concita el interés tanto de los radiofísicos como de los oncólogos radioterápicos. Es necesario estudiar las causas que lo dificultan, como el movimiento interno de órganos durante la sesión de tratamiento, los cambios anatómicos a lo largo del mismo y en definitiva las dificultades en conseguir la mayor precisión geométrica en el posicionamiento. El conocimiento de cómo de precisa es la administración del tratamiento es básico para poder relacionarlo con el resultado, con las dosis recibidas por los órganos críticos y la toxicidad asociada, como se demuestra en trabajos de Feliciano García Vicente (6), (7), que también muestra avances en aspectos de metrología y algoritmos de planificación (8).

Complementario a lo anterior, es el desarrollo de procedimientos de dosimetría in vivo, que permiten mejorar el conocimiento de las dosis reales impartidas y la ejecución de los tratamientos, proporcionando una herramienta de verificación de los mismos. En este campo fueron avances destacables los trabajos de Nuria Jornet



radioterapia externa.

Un ámbito de mejora en la seguridad radiológica en radioterapia, de desarrollo relativamente reciente, ha sido el esfuerzo por incorporar herramientas y formalismos conocidos en otros campos, para hacer un análisis cuantitativo de los riesgos, el cual permite actuaciones proactivas de prevención, mediante un estudio bien estructurado de los procedimientos, cuantificando la frecuencia y gravedad de todos los potenciales errores, y las medidas o barreras que los podrían evitar o mitigar; todo ello conduce a un proceso de mejora continua.

Es imprescindible citar en este sentido el desarrollo del Proyecto MARR, Matrices de riesgo en radioterapia, en el marco del Foro Sanitario en Protección Radiológica, que aglutina la participación de sociedades científicas, del Ministerio de Sanidad y del organismo regulador, Consejo de Seguridad Nuclear. Establecido el grupo de trabajo en 2013, aunque con trabajos previos, con la presencia como radiofísicos en el grupo coordinador de José Miguel Delgado y Carlos Prieto, y la participación de 12 hospitales, produce un modelo teórico, una guía práctica de aplicación y un programa informático que facilita la aplicación práctica (18).

Sobre el gran avance que supuso la implantación de la técnica de radioterapia con modulación de intensidad, podemos encontrar un compendio de aspectos de planificación, dosimetría y control de calidad en la experiencia del tratamiento del cáncer de próstata en el trabajo de Alberto Gómez Barrado (19); sobre procedimientos de verificación en las publicaciones de Juan Calama (20), César Rodríguez (21), Juan María Pérez Moreno (22), Jaime Martínez (23) o Fernando Caudepón (24); sobre planificación y dosimetría en los de Alfredo Serna (25) y Daniel Zucca (26), y sobre el control de calidad específico de la modulación de intensidad en la tomoterapia, en Ruth Rodríguez (27).

Para las técnicas de radioterapia guiada por la imagen, un grupo de la SEFM coordinado por M^a Cruz Lizuáin propuso unas útiles recomendaciones para su control de calidad (28)], e igualmente para la radioterapia guiada por superficie, otro grupo coordinado por Ruth Rodríguez (29), describe los procedimientos recomendados para su aceptación y puesta en tratamiento.

La profundización y aplicación de todos esos conceptos, con el apoyo de la gran evolución tecnológica experi-

(9), (10) incluyendo su aplicación en técnicas especiales como la irradiación corporal total (11).

En el campo de la braquiterapia, es inexcusable destacar el trabajo riguroso y exhaustivo de José Pérez Calatayud, que ha permitido describir con gran precisión las fuentes de braquiterapia para una correcta dosimetría (12), mejoras en los algoritmos de planificación (13) y el desarrollo de aplicadores de amplio uso a nivel internacional (14). No en vano, ha sido reconocido por la Organización Internacional de Sociedades de Física Médica, IOMP, en 2013 como uno de los 50 físicos médicos del mundo con más importantes contribuciones en los últimos 50 años (15) y con el premio del día internacional de la física médica 2021 (16). Coordinando el grupo de trabajo de la SEFM, ha producido un documento de referencia en este campo (17), al mismo nivel que los comentados antes para la

mentada nos llevan, casi llegando a nuestros días, ante el reto de la máxima individualización y control y modificación en tiempo real del curso de los tratamientos, lo que se conoce como radioterapia adaptativa, aspecto en el que ha producido un útil informe el grupo de la SEFM coordinado por Rafael García Mollá (30).

El desarrollo de técnicas especiales, en las que el tratamiento frecuentemente consiste en dosis muy altas en pocas sesiones (o en sesión única), exige intensos estudios previos, caracterizaciones muy precisas de los haces de radiación y un cuidadoso diseño de los procedimientos de trabajo; es decir, la importancia de la intervención del radiofísico se intensifica en casi todas las etapas del procedimiento.

Como ejemplo, los primeros centros en implantar radiocirugía con aceleradores lineales fueron el Hospital San Francisco de Asís de Madrid (1991) y el Hospital Puerta de Hierro (1992), en 1993 lo hace el Hospital Ruber con un gamma-knife. Los problemas dosimétricos son ampliamente tratados en los trabajos de Luis Núñez y Francisco Sánchez Doblado (31).

Buscando un paralelismo a esta técnica, en cuanto a exigencia de precisión geométrica y aumento de las dosis prescritas por fracción, encontramos la actualmente muy extendida radioterapia estereotáxica extracraneal. Documento de referencia en ella es el publicado por el grupo de la SEFM, coordinado por Pedro Fernández Letón (32).

De entre los primeros centros en poner en marcha la técnica de radioterapia intraoperatoria (33), algunos han publicado su sistemática de implantación y criterios asistenciales; . Es el caso de la Clínica Universitaria de Navarra (34) y el Hospital Gregorio Marañón (35). Un contenido más específico de radiofísica y e importantes detalles dosimétricos para caracterizar los haces se encuentra en los trabajos de José Ramón Sendón (36), (37), el segundo de ellos específico de un acelerador lineal móvil.

También son aportaciones interesantes de los radiofísicos las que se acercan a otros aspectos que sin duda influyen en el resultado de los tratamientos y en los efectos secundarios. Es el caso de la radiobiología clínica. Una recopilación de herramientas radiobiológicas que pueden aplicarse a la práctica clínica ya fue propuesta en 2003 en una monografía (38) por un grupo de trabajo coordinado por Damián Guirado, a su vez editor de la misma, y director de un curso homónimo. Se pueden destacar otras aportaciones importantes del propio Damián Guirado (39), (40), y de Fernando Pizarro (41), (42), (43).

La visibilidad de este cometido de la protección radiológica del paciente, a pesar de los muchos profesionales desarrollando su trabajo en él, ha estado en parte eclipsada por la mayor (y anterior) presencia de los aspectos de protección radiológica de los profesionales y el público, tanto en el marco regulatorio como en la vigilancia práctica de su aplicación por parte del Consejo de Seguridad Nuclear, organismo regulador competente aunque solo en este ámbito de protección de profesionales y público y no en el de los pacientes.

Por ello, se ha intentado involucrar más a la administración sanitaria (central y autonómicas), que son los organismos competentes en todo lo relativo a la protección del paciente y la calidad de los procedimientos médicos. Un ejemplo fueron las "Jornadas sobre calidad", impulsadas por la Sociedad Madrileña de Radiofísica Hospitalaria en colaboración con la administración sanitaria de esta comunidad en 2003 (44).

Otros ejemplos relevantes son la celebración en Málaga en 2001 de la Conferencia Internacional Sobre Protección Radiológica de Pacientes (45), auspiciada por la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), o en Madrid en 2016 de la Conferencia Iberoamericana sobre Protección Radiológica en Medicina (CIPRaM) (46), resultado de la labor conjunta de ocho entidades, entre las que estaban el Ministerio de Sanidad español y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Un aspecto que enseguida constituyó una preocupación de los radiofísicos fue organizar e impulsar el proceso de formación de su propia profesión, de manera que los nuevos profesionales que se incorporasen a los centros sanitarios lo hicieran con garantías de beneficiarse y beneficiar a la profesión y a los pacientes, de un sistema de enseñanza reglada, de probada calidad y eficacia como es el sistema de formación de residentes. Ello permitiría dotarse de un plan de formación bien estructurado, extenso y dotado de medios y mecanismos de tutela, que englobase una componente teórica y sobre todo práctica, adquirida mediante el trabajo real en los hospitales al lado de los profesionales ya experimentados, y reconocido como especialidad sanitaria, con el mismo rango que el resto de especialidades médicas.

Tras distintos intentos, se consiguieron iniciar en 1993 las convocatorias anuales de plazas de residentes, que ya no se interrumpieron, quedando refrendado definitivamente el reconocimiento del título oficial de especialista en radiofísica hospitalaria con la publicación en 1997 del decreto que regula la especialidad (47), después derogado y sustituido por otro cuerpo legislativo. La comisión promotora (48) creada entonces para encauzar el desarrollo de la especialidad por el sistema de residencia incluía físicos con amplia trayectoria en los hospitales: M^a Cruz Paredes, Juan José Peña, Pilar López-Franco, Montserrat Ribas, Eliseo Vaño, Pilar Olivares, Juan Amador Vela-Hidalgo, Pedro Fernández-Letón, Manuel Fernández Bordes.

En el campo de la Medicina Nuclear, el número de profesionales dedicados a las labores de radiofísica es muy inferior al caso de la radioterapia, y además su incorporación ha sido en general muy posterior (sin considerar las labores estrictamente de protección radiológica, entendida ésta como protección de profesionales y público, gestión de la instalación radiactiva, etc), lo que influye en el número de logros obtenidos, y en la importancia de la figura del radiofísico en este campo, que no obstante sigue progresando.

En los primeros tiempos, los esfuerzos estaban dedicados a contribuir a la mejora de las herramientas de diagnóstico, mediante aportaciones al software de procesamiento de datos, filtros de reconstrucción y optimización de los procedimientos. Son destacables los trabajos de Rafael Puchal (50), (51), (52), dedicando además gran esfuerzo a su divulgación entre la profesión, mediante monografías (53) y los primeros cursos teórico – prácticos.

También acumula larga trayectoria histórica la terapia metabólica mediante yodo-131, y en relación con la protección al paciente que aquí nos ocupa, los esfuerzos por llevar a cabo cálculos dosimétricos en los órganos más significativos. Se reflejan los progresivos logros en los trabajos de Raquel Barquero (54), (57), M^a Asunción Ruiz (55) y Jesús Melgar (56). Un documento de referencia es el publicado por el grupo de trabajo de dosimetría de la SEFM, coordinado por Raquel Barquero (58).

En los aspectos de control de calidad de la instrumentación, como se comentó en el caso de la radioterapia, supone un avance y consolidación de este campo, el trabajo conjunto de profesionales que desemboca en la publicación de protocolos, que reúnen y homogeneizan los procedimientos de trabajo fundamentales. En este sentido cabe destacar la publicación de la primera versión del Protocolo de Control de Calidad de la Instrumentación de Medicina Nuclear en 1999, por un grupo de autores coordinados por Marina Téllez de Cepeda (59), y sucesivas actualizaciones del mismo, en 2015 gracias al grupo coordinado por Rafael Puchal (60), y en 2020, con la autoría de otros profesionales coordinados por Carlos Montes (61).

Más recientemente, la aparición de la tomografía por emisión de positrones (PET) y su evolución desde el punto de vista de la radiofísica y de la protección radiológica, puede ilustrarse con numerosos trabajos proponiendo mejoras y optimizaciones en el balance diagnóstico - dosis impartida, a cargo de Josep Martí Climent (62),(63) y Elena Prieto (64), (65).

Como ilustración de la variedad de aplicaciones en las que el radiofísico puede aportar su contribución a la optimización, tenemos el trabajo de Daniel Prieto, proponiendo un protocolo de control de calidad para los procedimientos de cirugía radioguiada para detección y extirpación de ganglio centinela (66), o el de Carmen Escalada acerca de los problemas de dosificación en la terapia ablativa con iodo-131 de enfermos renales crónicos en hemodiálisis (67).

La terapia en Medicina Nuclear ha intensificado su interés en los últimos años con la aparición de nuevas aplicaciones con distintos isótopos. Estas entrañan como principal reto para los radiofísicos, un cálculo individualizado de las dosis absorbidas por el paciente, habitualmente muy dependientes de características individuales relacionadas con el metabolismo y con la patología.

Se han dedicado esfuerzos a ello, apoyándose en medidas experimentales en cada paciente individual para estimar la captación y eliminación, o empleando la imagen y el resto de la información diagnóstica proporcionada por las propias pruebas, junto con algoritmos de cálculo desarrollados al efecto. En este sentido destacan los trabajos de Nuria Carrasco (68), Manuel Sánchez-García (69),(70) y Verónica Morán (71).

Para dosimetría en estudios diagnósticos, son referencia los trabajos de Carlos Montes, aplicado a SPECT-CT (72) y de Josep Martí-Climent, aplicado a PEC-CT (73).

REFERENCIAS

- (1) Real Decreto 1132/1990, de 14 de Septiembre, por el que se establecen medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos. BOE nº 224, de 18 de septiembre de 1990.
- (2) Real Decreto 637/2023 de 18 de julio, por el que se establecen los criterios de calidad y seguridad de las unidades asistenciales de Medicina Nuclear. BOE nº 303, del 19 diciembre de 1997. Págs. 37137-37143.
- (3) Real Decreto 1566/1998, de 17 de Julio, por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia. BOE nº 206, de 28 agosto de 1998. Págs. 28383-29394.
- (4) SEFM Publ. Nº. 1, 1984. Procedimientos recomendados para la dosimetría de fotones y electrones de energías comprendidas entre 1 MeV y 50 MeV en Radioterapia de haces externos". Comité de Dosimetría en Radioterapia. Madrid ISBN: 84-398-2927-2.
- (5) SEFM. 2008. Control de calidad en aceleradores de electrones para uso médico. ISBN:978-84-692-3138-8.
- (6) García-Vicente, F., Zapatero, A., Floriano, A., Cruz-Conde, A., Perez, L., Marín, A., Mínguez, C., Torres, J. (2005). *Statistical analysis of dose-volume and dose-wall histograms for rectal toxicity following 3D-CRT in prostate cancer*. Medical physics. 32. 2503-9. 10.1118/1.1951427.
- (7) Garcia-Vicente, F. Zapatero, A. Vidales, C. Rodríguez, G. Leaman, O. Cruz-Conde, A. Bermudez, R. Liñan, O. Perez, Leopoldo. Torres, J. (2013). *Predictors for Late Urinary Toxicity After High-Dose Radiation Therapy for Localized Prostate Cancer*. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 87. S365-S366.
- (8) García-Vicente, F. (2003). Avances en metrología y planificación en radioterapia de haces externos. Efecto del tamaño del detector y cálculo en medios heterogéneos de baja densidad. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

- (9) Jornet, N., Ribas, M., Eudaldo, T. (2000) *In vivo dosimetry: Intercomparison between p-type based and n-type based diodes for the 16–25 MV energy range*. Medical physics 27 (6), 1287-1293.
- (10) Jornet, N., Carrasco, P., Jurado, D., Ruiz, A., Eudaldo, T., Ribas, M. (2004). *Comparison study of MOSFET detectors and diodes for entrance in vivo dosimetry in 18 MV x-ray beams*. Medical Physics 31 (9), 2534-2542.
- (11) Jornet, N., Ribas, M., Eudaldo, T. (1996) *Calibration of semiconductor detectors for dose assessment in total body irradiation*. Radiotherapy and Oncology 38 (3), 247-251.
- (12) Pérez-Calatayud J, Lliso F, Carmona V, Ballester F and Hernandez C. "Monte Carlo calculation of dose rate distributions around 0.5 and 0.6 mm in diameter Ir-192 wires". (1999). Med Phys; 26(3): 395-401
- (13) Pérez-Calatayud J. "Planificación de Tratamientos en Braquiterapia: Desarrollo de un Sistema Automatizado, cálculo de dosis por Monte Carlo y reconstrucción por TAC". (1998) Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza.
- (14) <https://www.20minutos.es/noticia/2661142/0/centenar-hospitales-utilizan-aplicador-valencia-de-sarrollado-por-fe-para-pacientes-con-c-ncer-piel/>
- (15) <https://www.iomp.org/50mps-with-outstanding-contribution/>
- (16) <https://www.iomp.org/recipients-idmp-award/>
- (17) Pérez-Calatayud, J., Arrans, R., De Frutos, J. M.^a, Guisasola, A., Macías, J., Valverde, J. (2000). Calibración, Matrices de Dosis y Control de Calidad en Braquiterapia: Informe del Grupo de Trabajo de Braquiterapia de la SEFM. Revista de Física Médica; 1(0): 1-4.
- (18) <https://sefm.es/aplicaciones/proyecto-marr/>
- (19) Gómez-Barrado, A., García-Vicente, F., Fernández, V., Zapatero, A., Fernández, I., Bermúdez, R., Pérez-González, L., Torres, J. (2011). Experiencia en el tratamiento de IMRT en cáncer de próstata. Planificación, dosimetría y garantía de calidad. Revista De Física Médica, 12 (3)
- (20) Calama, J., Infante, M.A, Lavado, M.E (2011). Aplicación de un método para la verificación de tratamientos de IMRT sobre la anatomía del paciente utilizando archivos dynalog. Revista De Física Médica, 12 (3)
- (21) Rodríguez, C., Martín, G., Bermúdez, R., López-Fernández, A., de Torres, M. V., García, T., Caballero, P. (2014). Una nueva implementación del análisis multicanal para la dosimetría mediante películas radiocrómicas. Revista De Física Médica, 15 (1)
- (22) Pérez-Moreno, J., Fernández-Letón, J., Zucca, D., García, J., Miñambres, A. (2011). Caracterización de un sistema de imagen portal basado en silicio amorfo para la medida de distribuciones de dosis absorbida. Revista De Física Médica, 12 (2)
- (23) Martínez, J., Quintana, A., Medrano, J., Ispizua, M. (2011). Predicción de la imagen portal con un algoritmo de superposición en la verificación de tratamientos de IMRT. Revista De Física Médica, 12 (2)
- (24) Caudepón, F., Pizarro, F., Sánchez Jiménez, J., Núñez, L., Morillas, J., Palomo Llinares, R. (2016). Verificación de dosis absorbida en un punto para planes de arcoterapia volumétrica modulada. Estudio comparativo entre microcámara de ionización y matriz de cámaras. Revista De Física Médica, 17 (1).

- (25) Serna, A., Puchades, V., & Mata, F. (2011). Aceptación para uso clínico de un sistema de planificación de tratamientos con técnicas de IMRT y VMAT. *Revista De Física Médica*, 12 (3)
- (26) Zucca, D., Pérez Moreno, J. M., Fernández Letón, P., García Ruiz-Zorrilla, J. (2016). Implicaciones dosimétricas asociadas al cálculo de dosis con corrección de heterogeneidad en radioterapia estereotáxica extracraneal (SBRT) de pulmón
- (27) Rodríguez, R., Martín, C., Moral, S., Sánchez, P., Sevillano, D. (2018). Procedimientos recomendados para el control de calidad de IMRT en tomoterapia. *Revista De Física Médica*, 19 (2).
- (28) SEFM. 2013. Recomendaciones para el control de calidad de equipos y técnicas de radioterapia guiada por la imagen (IGRT). ISBN: 978-84-940849-6-6.
- (29) Rodríguez, R., Zucca, D., de la Casa, M.A., Díaz, V., González, I., Jordi, O., Barbés, B. (2022). Informe del Grupo de Trabajo de la SEFM sobre Radioterapia Guiada por Superficie (SGRT): Procedimientos recomendados para la aceptación y puesta en funcionamiento. *Revista De Física Médica*, 23 (1), 45–80.
- (30) García-Mollá, R., Sánchez Rubio, P., Bonaque, J., Carrasco, M.A., Lliso, F. (2021). Implementación y uso clínico de la radioterapia adaptativa. Informe del grupo de trabajo de radioterapia adaptativa de la Sociedad Española de Física Médica. *Rev Fis Med* ;22 (1):123-66.
- (31) Núñez Martín, L., Sánchez-Doblado, F.(1998). Small field dosimetry in radiosurgery. ISBN: 978-84-605-7911-3.
- (32) Fernández-Letón, P., Baños, C., Bea, J., Delgado, J.M., De Blas, R., Martínez-Ortega, J., Pérez-Moreno, J.M., Simón, R. (2017) Recomendaciones de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM) sobre implementación y uso clínico de radioterapia estereotáxica extracraneal (SBRT). *Rev Fis Med* 18 (2):77-142.
- (33) Calvo, F.A. (2004). Radioterapia intraoperatoria (electrones) en España: 20 años de implantación asistencial y contribución científica. *Oncología (Barc.)* vol.27 nº.6.
- (34) Calvo, F.A., Escudé, LL. (1985). Radioterapia intraoperatoria. *Rev. Med Univ Navarra*; 29:113-22.
- (35) Calvo, F.A., Santos J.A., Lozano M.A., Herranz R., López M.A., Jiménez, R., Gálvez M., García J.I., Navia J. (1997) Radioterapia intraoperatoria: Desarrollo metodológico y experiencia clínica inicial. *Oncología* 20:435-43.
- (36) Sendón, J. R., Ayala, R., Jiménez, R., Gómez-Cores, S., González, C., García-Hernández, M. J., López Bote, M.A. (2014). Descripción técnica y dosimétrica de un sistema aplicador de alineación rígida para radioterapia intraoperatoria con haces de electrones en acelerador convencional. *Revista De Física Médica*, 14 (2)
- (37) Sendón, J. R., Ayala R., Gómez-Cores, S., García-Hernández, M. J., Polo, R., Jiménez, R., López Bote, M.A. (2015). Radioterapia intraoperatoria en quirófano con haces de electrones: descripción técnica y dosimétrica del acelerador dedicado Sordina LIAC. *Revista De Física Médica*, 16 (1)
- (38) SEFM. (2003). Radiobiología clínica. ISBN: 84-95074-35-4.
- (39) Guirado, D., Ruiz de Almodóvar, J. (2003). *Prediction of normal tissue response and individualization of doses in radiotherapy. Physics in medicine and biology*. 48. 3213-3223.

- (40) Guirado, D., Vega, J.M., Guerrero, R., Lallena, A. (2018). *Radiobiological parameters for breast cancer: a Monte Carlo analysis of START trial published results*. The British Journal of Radiology. 91.
- (41) Pizarro, F., Gómez, J., Pardina, P., Cerezo, S., García-Romero, A., Vitoria, A., Cebrián, E., Anoz, M., Ballarín, M., Ruiz Manzano, P. (2005). Influencia de la Variación del Parámetro beta en el Cálculo de la Probabilidad de Control Tumoral (TCP). Revista de Física Médica. 6. 225-231.
- (42) Pizarro, F., Hernández, A. (2014). *Methods to correct dose-volume histograms based on LQ formalism*. Medical Physics. 41.(6)
- (43) Pizarro, F., Hernández, A. (2017). *Optimisation of radiotherapy fractionation schedules based on radiobiological functions*. The British Journal of Radiology. 90. 201/0400.
- (44) Comunidad de Madrid. (2003) Jornadas sobre la calidad en los procedimientos médicos con radiaciones ionizantes. Dirección Gral. de Calidad, Acreditación, Evaluación e Inspección. Consejería de Sanidad y Consumo.
- (45) IAEA-CN-85. (2001) *International conference on the radiological protection of patients*.
- (46) <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/conferencia-ibero-americana-sobre-proteccion-radiologica-en-medicina-cipram>
- (47) Real Decreto 220/1997, de 14 de Febrero, por el que se crea y regula la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria. BOE nº 52 de 1 de Marzo de 1997, págs. 6914-6918.
- (48) https://www.sanidad.gob.es/va/profesionales/formacion/docs/Radiofisica_Hospitalaria.pdf
- (49) Eudaldo, T., Peinado, M.A. (2017). ¿Son útiles los cursos de Baeza actualmente?. Revista De Física Médica, 17 (2).
- (50) Puchal Añé, R. (1989). Restauración variante de imágenes en medicina nuclear. Universitat de Barcelona, 1989. ISBN 84-7528-731-X.
- (51). Puchal, R., Guirao, S., Domènech, A., Rodríguez, A., Bajén, M.T., Ricart, Y., Murillo, M, Martín-Comín, J. (2008) Determinación de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo realizada con 4 programas de cálculo distintos. Revista española de medicina nuclear, ISSN 0212-6982, Vol. 27, nº. 6, págs. 418-423.
- (52) Puchal, R. (2008). Reconstrucción tomográfica por métodos iterativos. Revista española de medicina nuclear. Vol.27, nº 6, págs. 460-467.
- (53) Puchal, R. Filtros de imagen en medicina Nuclear. Madrid. Eurobook, 1997. ISBN 84-89115-07-9 y Filtros en Medicina Nuclear. SEFM. 2017.
- (54) Barquero, R., Basurto, F., Vega-Carrillo, H.M., & Iñiguez, M.P., Ferrer, N., Esteban, R. (2008). *Correlation between external exposure and activity in patients undergoing 131I thyroid cancer therapy*. Health physics. 95. 227-33.
- (55) Ruiz, M., Ferrer, N., Córdoba, D., Alonso, L., Sastre, J., & Arranz, L. (2010). Dosimetría de pacientes con cáncer diferenciado de tiroides en tratamiento de terapia metabólica con I-131 a partir de medidas de tasa de dosis externa. Revista De Física Médica, 11(1).

- (56) Melgar, J., Orellana, A., Santaella, Y., Arrocha, J. F. (2014). Comparación dosimétrica entre actividad fija y actividad individualizada en el tratamiento de la enfermedad de Graves con I-131. *Revista De Física Médica*, 14(2)
- (57) Barquero, R., Garcia, H., Incio, M., Mínguez, P., Cardenas, A., Martínez, D., Lassmann, M. (2017). *131 I activity quantification of gamma camera planar images*. *Physics in Medicine and Biology*. 62.(3) 909-926.
- (58) Barquero, R., Ferrer, N., Luis Simón, J., Martí-Climent, J. M., Martínez-Gómez, L. C., Mínguez, P., Montes, C., Plaza, R., Rivas M.A. (2017). Procedimientos recomendados de dosimetría de pacientes en tratamientos de hipertiroidismo con I-131. Grupo de trabajo de dosis tras la administración de radiofármacos de la S.E.F.M. *Revista De Física Médica*, 18(2).
- (59) SEFM – SEMN -SEPR. (1999). Protocolo Nacional del Control de Calidad en la Instrumentación en Medicina Nuclear.
- (60) SEFM-SEMNM-SEPR. (2015). Control de Calidad de la instrumentación de Medicina Nuclear. ISBN: 978-84-944186-2-4.
- (61) SEFM-SEMNM-SEPR (2020). Protocolo de control de calidad de la instrumentación de Medicina Nuclear. ISBN: 978-84-944186-8-6.
- (62) Martí-Climent, J., González, I., Irazola, L., Prieto, E. (2021). *Impact of reduced acquisition time in PET/CT lesion detectability: study with an anthropomorphic female thoracic phantom*. *Physica Medica*. 92. S91.
- (63). Martí-Climent, J.M., Prieto, E., Elosúa, C., Rodríguez-Fraile, M., Domínguez-Prado, I., Vigil, C., García-Velloso, M.J., Arbizu, J., Peñuelas, I., Richter, J.A. (2014). *PET optimization for improved assessment and accurate quantification of 90Y-microsphere biodistribution after radioembolization*. *Medical physics* 41 (9).
- (64) Prieto, E., Garcia-Velloso, M., Rodriguez, M., Moran, V., García-García, B., Guillén, F., Morales, M.I., Rodríguez, L., Penuelas, I., Richter, J., Martí-Climent, J. (2018). *Significant dose reduction is feasible in FDG PET/CT protocols without compromising diagnostic quality*. *Physica Medica*. 46. 134-139.
- (65) Prieto, E., Martí-Climent, J., Moran, V., Rodríguez, L., Barbés, B., Arbizu, J., Richter, J. (2015). *Brain PET imaging optimization with time of flight and point spread function modelling*. *Physica Medica*. 31 (8).
- (66) Prieto Morán, D., Sánchez-Noriega, K., Rodríguez Meijide, P., Martínez Albaladejo, M., Esteve, S., Barquero, R., Ferrer, N. (2015). Protocolo de control de calidad para procedimientos de cirugía radioguiada para detección y extirpación de ganglio centinela y de lesiones no palpables. *Revista De Física Médica*, 16(1).
- (67) Gallegos-Villalobos, A., García-López, F., Escalada, C., Ortiz, J., Cardona, J., Medina, A., Portolés, J. (2014). *Use of radioactive iodine I-131 and monitoring of radioactivity in patients with chronic kidney disease on haemodialysis*. *Nefrología*: 34 (3).
- (68) Carrasco, N., Tejedor, N., Giménez-Gómez, V., Torres, I. (2021) Dosimetría por imagen en radioembolización hepática con Y90: impacto de la resolución espacial del PET. *Rev Fis Med* 22(2):43-8.
- (69) Sanchez-Garcia, M., Gardin, I. Lebtahi, R. Dieudonné, A. (2015). *Implementation and validation of collapsed cone superposition for radiopharmaceutical dosimetry of photon emitters*. *Physics in medicine and biology*. 60. 7861-7876.

- (70) Dieudonné, A. Sanchez-Garcia, M. Lebtahi, R. Gardin, I. (2014). Commissioning of Tc99m-MAA-SPECT/CT dosimetry for radio-embolization with Y90-microspheres. Presentación
- (71) Morán, V., Prieto, E., Sancho, L., Rodríguez-Fraile, M., & Martí-Climent, J. M. (2019). Radioembolización Hepática con microesferas de 90Y: aspectos metodológicos y dosimétricos. *Revista De Física Médica*, 20(1).
- (72) Montes, C., Tamayo, P., Hernandez, J., Gomez-Caminero, F., Garcia, S., Martín, C., Rosero, A. (2013). *Estimation of the total effective dose from low-dose CT scans and radiopharmaceutical administrations delivered to patients undergoing SPECT/CT explorations*. *Annals of nuclear medicine*. 27.
- (73) Martí-Climent, J., Prieto, E., Moran, V., Rodríguez, L., Rodriguez, M., Arbizu, J., Garcia-Velloso, M., Richter, J. (2017). *Effective dose estimation for oncological and neurological PET/CT procedures*. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research* 7 (1), 1-8.

Sheila Ruiz Maqueda. *Técnico Superior en Radioterapia, vocal de radioterapia en AETR, Hospital Universitario de Fuenlabrada*

Maria Jesus Suarez. *Presidenta AETR*

Aplicaciones de la Radiactividad en la Sanidad y sus Riesgos

Sí, la radiación *puede* ser peligrosa. Esta pregunta ahora no formulada está, en realidad, en la cabeza de cada persona, paciente, técnico, físico, médico o estudiante que, de una manera eventual o permanente, se ve expuesto a radiación.

Y no es de extrañar. Desde que el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen tuviera a bien irradiar con rayos X la mano de su mujer, datando así la primera radiografía en 1895, hasta el día de hoy, muchos sucesos negativos y accidentes radiológicos están en el imaginario común. Este imaginario está perfectamente contemplado en el monumento *Das Ehrenmal der Radiologie* en el hospital de Hamburgo desde 1936, en el que se muestran cientos de nombres de científicos e investigadores que han fallecido como consecuencia de la exposición a la radiación. Aquí, cabría mencionar que la primera muerte registrada es la de Clarence Madison Dally, soplador de vidrio al servicio de Thomas A. Edison, que durante el desarrollo experimental de una máquina de rayos X sufrió la complicación de una dermatitis producida por radiación que terminó con su vida.

El incipiente interés en la física nuclear, atómica y en las radiaciones, rápidamente se expandió en todas las ramas de experimentación civil y militar. Las aplicaciones desde el descubrimiento de la radiactividad por Becquerel, los rayos X por el ya citado Röntgen y el radio por el matrimonio Curie en 1898, son innumerables. Hay que tener en cuenta que el estudio experimental de aquella época ha tenido grandes hitos que han marcado el desarrollo humano. Como, por ejemplo, la invención del aparato de rayos X por Thomas A. Edison (1896), la aplicación de rayos X en medicina por Marie Curie, las primeras pruebas con bombas atómicas (Prueba Trinity 1945), los dispositivos de arco quirúrgico, medicina nuclear, el acelerador lineal de partículas (1924) y el desarrollo de las centrales nucleares actuales. Todos estos avances científicos han modelado tanto nuestra sociedad que, hoy en día, es inconcebible una civilización sin ellos.

Todos estos progresos han requerido, a su vez, de grandes medidas de protección, porque, si ya comentábamos al principio que la radiación puede ser peligrosa, también debe ser segura. Especialmente en cuanto a la rama sanitaria se refiere, porque debemos recordar que entre todos los derechos fundamentales de los pacientes, el primero que todo profesional debería considerar es el derecho del paciente a no ser perjudicado de forma alguna. Igualmente, el profesional tiene derecho a disponer de instalaciones, recursos y medios técnicos adecuados. Lo que, sin duda, pasa también por su propia seguridad.

En este marco, muchas recomendaciones, directrices y normas han sido aplicadas a lo largo del tiempo. Una de las primeras de las que se tiene constancia son las sugerencias del científico alemán Fuchs que, a la postre, fallecería por exposición a la radiación. Sus consejos, aunque a todas luces insuficientes para su propia seguridad, ahondaron en lo que más tarde serían las bases de la protección radiológica; **Tiempo** (exposición), **distancia** (con referencia a la fuente) y **blindaje** (de área y personal). Estos tres parámetros se han tenido y se tienen en cuenta históricamente. Por citar tres ejemplos, el sarcófago de reactor accidentado de Chernóbil (1986), la protección en los equipos de diagnóstico y los equipos de protección personal actuales (trajes NBQ).

La Normalización de la Protección Radiológica: ICRP, IRPA, OMS, OIEA, Euratom

Sin duda alguna, un marco normativo de protección radiológica en este contexto es completamente necesario. Múltiples normativas y recomendaciones han sido establecidas por diferentes países en el ámbito local, pero, los mayores avances y regulaciones se han establecido de manera internacional. La primera normativa histórica más relevante se estableció en el segundo congreso internacional de radiología (Estocolmo, 1928). En este congreso se llegó a dos acuerdos esenciales; la creación del *International X-Ray and Radium Protection Committee* que más tarde pasaría a ser la *International Commission on Radiological Protection* más conocida por ICRP en 1950 y la creación de la *International X-Ray Unit Committee*, que años más tarde daría lugar a la actual *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU).

Desde los inicios, el ICRP ha venido realizando publicaciones, guías prácticas y recomendaciones que son la base del actual Sistema Internacional de Protección Radiológica. Por su parte, la ICRU ha introducido magnitudes y unidades métricas de radiaciones y sus efectos en el sistema internacional de unidades. Entre ellas, *la actividad y el Becquerel (Bq)*, *la dosis absorbida y el Gray (Gy)* y *la dosis equivalente y el Sievert (Sv)*. Con la actividad de ambos comités, en 1977, vio la luz la publicación de la doctrina ALARA (As Low as Reasonably Achievable) que es la base de la protección radiológica actual y que se basa en los mismos conceptos de **tiempo, distancia y blindaje** de las recomendaciones de Fuchs.

Fue después de la segunda guerra mundial cuando el uso de la energía nuclear se extendió en el ámbito civil. Este nuevo escenario postbelicista propició numerosas agencias de cooperación global como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), Organización Mundial de la Salud (OMS), Organismo Internacional para la Energía Atómica (OIEA) o la creación de la Comunidad Económica Europea y el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM).

En el ámbito más específico, la *International Radiation Protection Association* (IRPA), creada en 1965 como un conjunto de asociaciones nacionales para la protección radiológica, propuso en 1990 la prevención de los efectos deterministas y la exigencia de medidas razonables para reducir la incidencia de los efectos biológicos estocásticos, cáncer, efectos genéticos, principios de justificación de uso y ALARA.

Aplicación de las Radiaciones y Desarrollo de la PR en el Sector Sanitario en España

España, dentro de este ámbito histórico, también tiene un amplio bagaje marcado por el aislacionismo posterior a la segunda guerra mundial. No obstante, los esfuerzos realizados por los científicos españoles han producido brillantes resultados desde que, en el año 1896, César Comas Llaberías, hiciera las primeras pruebas de rayos X con un tubo de Crookes del Gabinete de Física de la Universidad de Barcelona.

También hemos tenido que experimentar dolorosas pérdidas, como la primera muerte documentada, la de J. Pujol i Camps y la del mismo César Comas Llaberías.

Incluso durante todos los años de aislamiento de España con respecto a la comunidad científica internacional, el uso de los Rayos X y las radiaciones ionizantes fue creciendo y haciéndose patente. El primer laboratorio de Medicina Nuclear se instaló en Consejo Superior de Investigación y Ciencia (CSIC, 1947) y el primer Servicio de Medicina Nuclear en el Hospital de San José y Santa Adela de la Cruz Roja de Madrid (1948). Solamente unos

años más tarde se instalaron los primeros ciclotrones en Madrid (Universidad Complutense) y en Santander (Hospital Marqués de Valdecilla). El primer equipo de tele-cobaltoterapia se instalaría en 1957 en Madrid (Sanatorio Rúber), los primeros aceleradores lineales en 1975 y 1976 en Zaragoza (Hospital Clínico) y Madrid (Ciudad Sanitaria 1º de Octubre) y en 2019 el primer Centro de Protonterapia (Quirónsalud) en Pozuelo.

La firma de los que se conocerían como los *Pactos de Madrid* (1953) devolverían a España al ámbito internacional incorporándose a la ONU (1955), a la ENEA/OCDE (1958) e ingresó en el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN, 1961). Este retraso internacional produjo que España quedase rezagada en cuanto al desarrollo de normativa en protección radiológica, que ya era bastante común entre sus homólogos europeos. Las primeras normas se emitieron en la Orden de Presidencia del Gobierno en 1959 y revisadas posteriormente en el año 1962. La Orden se basaba en las *Normas Básicas para la Protección de los Trabajadores y el Público*, que establecía los primeros límites de dosis para los trabajadores y la población general, concentraciones máximas permisibles en aire inhalado y agua de consumo, la supervisión de las zonas controladas y vigiladas y los reconocimientos médicos periódicos.

La *Ley de energía nuclear* (LEN, 1964) vendría a establecer el marco jurídico en el que debía desarrollarse la energía nuclear. La LEN fue desarrollada en el *Reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas* (RINR, 1972), que establece la supervisión pública del desarrollo y uso de la energía nuclear y las radiaciones en España. El RINR establecía la clasificación de instalaciones radiológicas en nucleares y radiactivas y las cantidades de radionucleidos que determinan la categoría de estas últimas, las cantidades de radiactivo que quedaban exentas del cumplimiento de los requisitos reglamentarios e incorporaba las figuras de: operador, supervisor y Jefe de Servicio de Protección Radiológica como responsable de la aplicación de las normas de protección en todas las fases de explotación de las instalaciones y actividades nucleares y radiológicas.

El artículo 2.a) de la Ley 15/1980, de 22 de abril, da creación al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Tras la modificación introducida por la disposición adicional primera de la Ley 14/1999, de 4 de mayo, de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear, atribuye a este ente público la facultad de "elaborar y aprobar las instrucciones, circulares y guías de carácter técnico relativas a las instalaciones nucleares y radiactivas y a las actividades relacionadas con la seguridad nuclear y la protección radiológica". Por tanto, quedaría establecido en esta ley la competencia del CSN para el marco regulativo en el que se establecerían las licencias de operador, supervisor de instalaciones nucleares y radioactivas y las acreditaciones para dirigir u operar instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico. Es ya, en la instrucción IS-03 del 6 de noviembre del 2002 del CSN donde se establece las cualificaciones prácticas y teóricas para obtener la licencia de experto en protección contra las radiaciones ionizantes, tanto a nivel de jefe de Servicio de Protección Radiológica o Unidad Técnica de Protección Radiológica, como la de técnico experto en protección radiológica de un Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica.

En cuanto al ámbito sanitario se refiere, en la actualidad, las funciones principales de los Técnicos Superiores especializados en Protección Radiológica son las siguientes:

- Participación o realización de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos en las tareas de:
 - Vigilancia de niveles de radiación en las instalaciones
 - Vigilancia de niveles de contaminación en las instalaciones
 - Control de altas de pacientes tratados con sustancias radiactivas
 - Gestión de residuos

- Gestión de dosimetría personal de los trabajadores expuestos
- Control de Calidad de equipos de rayos X
- Control de Calidad de equipos de Medicina Nuclear
- Control de Calidad de fuentes radiactivas
- Medida de dosis a pacientes en Radiodiagnóstico
- Medida de dosis a pacientes en Medicina Nuclear

Los estudios en Protección Radiológica dentro de la profesión del Técnico Superior/Especialista de Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Radioterapia, han ido evolucionando con el paso de los años a través de las diferentes reformas educativas. En un principio fueron impartidos de forma experimental desde el año 1970 hasta 1978, mientras que la vigencia para los de Radioterapia fue de dos años más, hasta 1980.

Sin embargo, ya desde 1970 en la Ley 14 de 4 agosto de 1971 (LGE) del Ministerio de Educación y Ciencia (figura 1) se crea la Formación Profesional. En esta ley, los puntos más importantes a señalar son: "la duración necesaria para el dominio de la especialidad correspondiente, sin que pueda exceder de dos años por grado" y también cita la cualificación que debe tener el profesorado para impartir la formación "Profesores de Formación Profesional de segundo grado, título de Diplomado Arquitecto técnico o Ingeniero Técnico, según su especialidad".

Esta ley supuso un hito histórico que marcó la principal divergencia entre ATS (Ayudante Técnicos Sanitarios) y técnicos, tal como atestigua Dorita Díaz Álvarez, Técnico en Radiodiagnóstico que cursó sus estudios en el año 1972 en el Hospital General de Asturias, en la escuela fundada por el Dr. Cesar Pedrosa, en el que los aspirantes a estudiar la profesión de técnico tenían que tener estudios de bachiller superior. Siendo, sin embargo, el requisito de los ATS, disponer de tan solo bachiller elemental.

Otra de las principales características fue la titulación exigida al profesorado de la Formación Profesional, ya que hasta el momento los profesores eran los médicos especialistas y, con esta nueva Ley, pasaba a poder ser profesor cualquier profesional de la rama sanitaria, tuviera o no relación con la radiología, dándose casos habituales de veterinarios impartiendo clases de anatomía humana.

En el Real Decreto 707 de 5 de marzo de 1976 se autorizó y reguló el carácter experimental de la Formación Profesional de Segundo Grado. Este nuevo plan se articulaba en tres áreas de conocimientos: Área de formación empresarial, Área de conocimientos tecnológicos y prácticos y Área de formación común; no hubo referencias a la rama sanitaria. Dos años después, en 1978, con la Orden Ministerial del 1 de septiembre (figura 2) fue cuando se estableció por primera vez las especialidades de Radiodiagnóstico y Medicina Nuclear. A partir del curso 1978-79 se integraron con carácter regular la rama Sanitaria de Formación Profesional de Segundo Grado, creándose la figura de unos profesionales cualificados para realizar pruebas de imagen para el diagnóstico en los servicios de Radiodiagnóstico y de Medicina Nuclear, los cuales tenían una estrecha colaboración y participación con los Médicos Radiólogos y Médicos Nucleares.



Figura 1: Ley 14 de 4 agosto 1970

Por otro lado, la especialidad de Radioterapia no se estableció hasta 1980 en la Orden Ministerial del 23 de mayo (figura 3). Fue en el curso 1980-81 cuando se integra con carácter regular en la rama sanitaria. También en este Real Decreto se aprueban los cuestionarios para el desarrollo de las enseñanzas de Radioterapia, Radio-diagnóstico y Medicina Nuclear con una duración de 1656 horas por especialidad.



Figura 2. Orden Ministerial del 1 de septiembre de 1978



Figura 3. Orden Ministerial del 23 de mayo de 1980.

En 1984, gracias al Dr. Ernest Lluch, Ministro de Sanidad y Consumo, se avanzó en la consolidación de las especialidades debido a la mención específica de la Orden Ministerial del 18 de junio de 1984 (Figura 4) que resaltó las competencias y funciones que tenían los técnicos especialistas *“Los continuos avances tecnológicos en el campo de la atención de salud aconsejan la utilización de un personal altamente cualificado para el manejo y manipulación de los medios técnicos y tratamiento”*. Este párrafo cambió por completo la trayectoria de la profesión, ya que anteriormente estos puestos de trabajo eran ocupados por ATS. De hecho, en la misma Orden Ministerial aparece el siguiente párrafo: *“Sin embargo, en la actualidad se vienen prestando servicios por distintos profesionales, en diversos Centros hospitalarios, sin el título de Técnico Especialista que acredite la previa capacitación para el ejercicio”*.

También hubo una disposición adicional que cambió el rumbo en el ejercicio profesional en hospitales y clínicas especializadas, en la que se cita: *“será requisito indispensable para acceder a las vacantes y nuevas plazas que supongan el ejercicio de las funciones y actividades reguladas en el artículo cuarto, el estar en posesión del título de formación Profesional de segundo grado Rama Sanitaria, en la especialidad que a cada caso corresponda”*.

Hay que resaltar, que hasta 1995, los Técnicos Especialistas en Radiodiagnóstico no tenían dentro de sus disciplinas ninguna asignatura que fuera estrictamente protección radiológica, solo tenían una asignatura de-

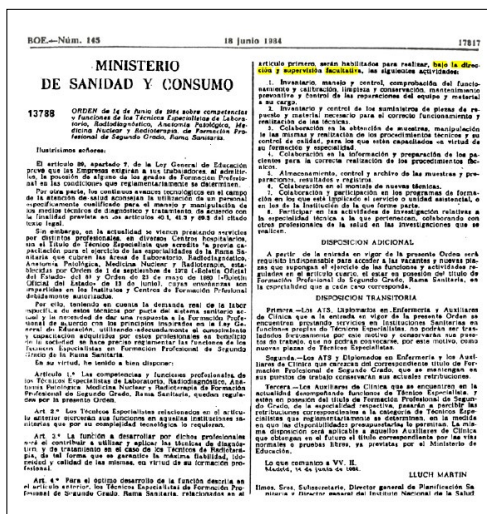


Figura 4. Orden Ministerial del 18 de junio de 1984.

nominal "Seguridad e higiene en el trabajo". Es en la reforma LOGSE con los Reales Decretos 545/1995 de 7 de abril (Figura 5) por el que se estableció el título de Técnico Superior de Imagen para el Diagnóstico con 2.000 horas de formación, y el Real Decreto 544/1995 de 7 de abril (Figura 6) por el que se establece el título de Técnico Superior de Radioterapia con 1.700 horas de formación, donde se incluye por primera vez la asignatura de Protección Radiológica.

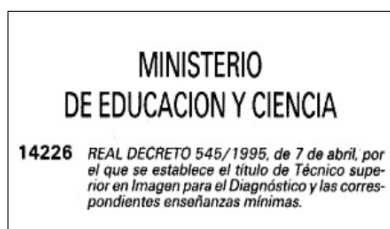


Figura 5. Real decreto 545/1995 de 7 de abril.

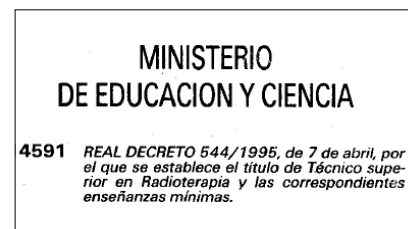


Figura 6. Real Decreto 544/1995 de 7 de abril.

Sin embargo, esta ley fusionó en un único título a los TER (Técnicos Especialistas en Radiodiagnóstico) y a los TEMN (Técnicos Especialistas en Medicina Nuclear), asimilando los contenidos curriculares y formativos de ambas titulaciones, reduciéndose de 4 años (2 para TER y 2 para TEMN) a tan solo 2 años para impartir las dos especialidades.

En 1998, en el anexo III del Real Decreto 777/1998, se exponen las equivalencias profesionales de los Técnicos Especialistas para configurar la nueva ordenación profesional donde se equipara a los Técnicos de Medicina Nuclear con los mismos efectos académicos y profesionales que el Técnico Superior en Radioterapia.

Ocho años después, en el Real Decreto 1538/2006 de 15 de diciembre de 2006 se rectifica la equiparación que excluía a los Técnicos de Medicina Nuclear de la titulación de Técnicos Superiores en Imagen para el Diagnóstico pero, se mantiene la equiparación con la especialidad de Radioterapia: *"el título de Técnico Especialista en Medicina Nuclear tiene los mismos efectos académicos y profesionales que el título de Técnico Superior en Imagen para el Diagnóstico y que el título de Técnico Superior en Radioterapia"*.

Estas equivalencias se mantienen hasta el año 2011, donde se eliminan al derogarse el Real Decreto del 2006, sin embargo, sigue habiendo conflictos en la interpretación de las equivalencias, ya que deja las competencias del perfil profesional supeditadas al resto de normativas de regulación de los propios títulos como son; el Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales (título II: Títulos de Formación profesional, Capítulo I: Los títulos y sus efectos que cita *"los títulos de formación profesional acreditan las competencias incluidas en el perfil profesional incluyendo competencias profesionales, profesionales, personales y sociales ... Los títulos de técnico y técnico superior quedaran agrupados en las familias profesionales establecidas en el Anexo I del Real Decreto 1128/2003 de 5 de septiembre, por el que se regula el Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales"*).

Dentro del Catálogo Nacional de Cualificación Profesional, en el anexo CXXVII de Radioterapia se cita; *"com-*

petencia general: efectuar tratamientos con radiaciones ionizantes bajo prescripción médica, con equipos provistos de fuentes encapsuladas o productores de radiaciones, aplicando normas de radioprotección generales y específicas, y colaborar con los facultativos responsables de las unidades de protección radiológica hospitalaria, siguiendo normas de garantía de calidad “. En la cualificación profesional de Imagen para el Diagnóstico, en el anexo DCXXVII se cita: “obtener registros gráficos, morfológicos o funcionales del cuerpo con fines diagnósticos o terapéuticos, utilizando equipos de radiodiagnóstico y medicina nuclear, siguiendo protocolos normalizados de trabajo, interpretando y validando los resultados técnicos obtenidos bajo la dirección del facultativo especialista correspondiente”.

Estas lagunas legislativas se vieron cercadas en el último Real Decreto que sigue vigente en la actualidad, donde expone que *“tendrá los mismos efectos profesionales y académicos que el título Superior en Imagen para el Diagnóstico y Medicina Nuclear, establecido en el presente real decreto”.*

Cabría señalar que todo este maremágnum de reformas, contrarreformas y enmiendas, ha creado un marco único en el entorno europeo, ya que la norma predominante es que estos estudios de protección radiológica formen parte de un grado universitario que complementa en mayor amplitud los conocimientos teóricos y prácticos.

La paulatina entrada en la rama sanitaria de nueva tecnología y de nuevas técnicas, como la más reciente implantación de los centros de protonterapia, hace aún más necesaria la homologación con los profesionales europeos. Ya que, en la mayoría de los casos, la gran profesionalización de los técnicos españoles es debida al gran esfuerzo personal que deben realizar al margen de los estudios estatales regulados.

Agradecimientos

Asociación Española de Técnicos y Graduados en Radiología, Radioterapia y Medicina Nuclear (AETR) en especial a Juan Alfonso Soria Jerez, secretario general de AETR, por la revisión de este capítulo.

Rosa María Gilarranz Moreno, jefa de protección radiológica del Hospital 12 de Octubre y María José Rot San Juan, adjunta en dicho servicio, por su colaboración documental y por el impulso en la formación y especialización de los técnicos superiores en este ámbito.

Juan Castro Novais, jefe de protección radiológica del centro de Protonterapia Quirónsalud, por toda su acción docente en la cual me ha formado durante años en esta materia que es la Protección Radiológica.

Y, por último, pero no por ello menos importante, Rafael Herranz por confiar en los técnicos para la elaboración de este capítulo y agradecerle el apoyo documental que ha aportado para que este texto salga adelante.

Bibliografía

- Instrucción de 6 de noviembre de 2002, del Consejo de Seguridad Nuclear, número IS-03, sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes
- F. Acosta, 2018
La energía nuclear como instrumento de la política exterior española, del aislamiento a la entrada en la OTAN
Revista general de marina, Vol. 275, MES 5 (Diciembre), 2018, Pag. 865-877.

- V. Albert Biete, 2018
Una mirada al pasado. Las primeras bombas de cobalto. AEOR, 2018
- I. Artieda, 2009
El Uranio en Castilla y León. Junta de Castilla y León. C. de Economía y Empleo. D.G. de Energía y Minas Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA)
- P. Brown, 1936
American Martyrs to Science through the Roentgen Rays. Editorial: Charles C. Thomas, 1936
- CADRI, 1955
Orden Ministerial por la que se crea la Comisión Asesora de Reactores Industriales. BOE, de 24 de julio de 1955
- L. Carrasco, 1928
Segundo Congreso de Radiología. Ars Medica. Vol. 4, Núm. 37 (1928)
- F. Carriazo, 1919
El trágico final de los doctores Carriazo, Puellas y Murga, pioneros de la Radiología en Sevilla. ABC de Sevilla, 11 de marzo de 2015
- R. Clark y Jack Valentin, 2008
The History of ICRP and the Evolution of its Policies. ICRP Publication 109, 2008
International Commission on Radiological Protection. www.icrp.org
- CGPM, 1975
Resolution 8 of the 15th CGPM (1975). Consultative Committee for Ionizing Radiation (CCRI). International Committee for Weights and Measures (CIPM). www.bipm.org
- CGPM, 1979
Resolution 5 of the 16th CGPM (1979). Consultative Committee for Ionizing Radiation (CCRI) International Committee for Weights and Measures (CIPM). www.bipm.org
- CSIC, 2012
J. M. Otero de Navascués: Ciencia y Armada en la España del Siglo XX. CSIC, Ref. 12167
- P. W. Frame, 1896
Tales from the Atomic Age. The Legend of Émil H. Grubbé.
<https://www.orau.org/ptp/articlesstories/grubbe.htm>
- A. Galindo, 2013
In memoriam; Excmo. Sr. D. Carlos Sánchez del Río y Sierra. Alberto Galindo Tixiare. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1 de julio de 2013
- G. Gamow, 1966
Thirty Years That Shook Physics - The Story of the Quantum Theory. Anchor Books; First Anchor Edition, 1 enero 1966
- R. Hernando Luna, 1980
Discurso de ingreso como Académico. Boletín de la Real Academia de Córdoba 101, 5-20 (1980)

- R. Herzig, 2001
In the Name of Science: Suffering, Sacrifice, and the Formation of American Roentgenology. American Quarterly, Vol. 53, nº. 4 (diciembre 2001)
- ICRP 1958
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 1. Pergamon Press, New York
- ICRP, 1977
Recommendations of the ICRP. Annals of the ICRP Publication 26
- ICRP, 2008
Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. Annals of the ICRP Publication 109
- JEN, 1951
Decreto-ley de 22 de octubre de 1951 por el que se crea la Junta de Energía Nuclear. BOE núm. 297, de 24 de octubre de 1951
- R. Joader, 2014
Ionizing radiation: Historical perspective and its use in cancer patient
<https://www.slideshare.net/rgkritam/history-of-ionizing-radiation>
- J. Guarrés-Iruraun, 2017
La iniciativa privada en el Programa Nuclear Español: reflexiones en torno al contexto institucional y empresarial
Sesión Plenaria 2 "Los negocios eléctricos: estrategias productivas, financieras y organizativas"
XII Congreso de la Asociación Española de Historia Económica, Salamanca, septiembre de 2017
- M. H. Klaproth, 1789
Chemische Untersuchung der Mineralquellen zu Carlsbad. Berlin 1890
- LEN, 1964
Ley sobre Energía Nuclear. B. O. E. nº 107 de 4 de mayo de 1964
- A. López Jiménez, 2015
El trágico final de los doctores Carriazo, Puellas y Murga, pioneros de la Radiología en Sevilla. Academia Sevillana de Medicina, 1915
- J. Malone, 2020
X-rays for medical imaging: Radiation protection, governance and ethics over 125 years. Physica Medica · October 2020
- MARNA, 2000
Proyecto MARNA. Mapa de Radiación Natural Gamma en España. CSN, Colección de documentos técnicos, nº 5, 2000. <https://www.csn.es/mapa-de-radiacion-gamma-natural-marna-mapa>

- R. Medina et al., 1996
Radiation oncology in Spain: historial notes for the radiology centennial. International Journal on Oncology Biological Physics, Vol. 35 nº. 5, 1996
- Orden de Presidencia, 1959
Orden de 22 de diciembre de 1959 por la que se dictan normas de protección contra las radiaciones ionizantes (mod. por Orden de 10 de julio de 1962)
- ONU, 1955
Resolución 995 (X): «Admisión de Nuevos Miembros en las Naciones Unidas, aprobada por la Asamblea General el 14 de diciembre de 1955. A/RES/365. Asamblea General Documentos Oficiales. Anexos. NY, 1955.
- PNEU, 1974
Plan Nacional de Exploración del Uranio (1974-1983). Real Decreto 2967/1979 sobre ordenación de actividades en el Ciclo del Combustible Nuclear. B.O. E. nº. 12 de 14 enero de 1980
- F. Portolés Brasó, 2010
César Comas, introductor de los rayos X en España. Imagen Diagnóstica 2010; 1(1) :28-35
- F. J. Redondo-Calvo et al., 1916
La introducción de los rayos X en España. La ciencia médica y la sanidad naval rumbo al siglo XX. Sanidad Militar vol. 72 nº. 4, Madrid, 2016
- RINR, 1972
Decreto 2869/1972 por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas. B.O.E. nº. 255 de 24 de octubre de 1972
- A. Romero de Pablos, 2019
Knowledge that traveled between Italy and Spain during the Franco regime: the construction of radioactivity counters. História, Ciências, Saúde. Manguinhos, Rio de Janeiro, v.26, n.1, jan.-mar. 2019
- A. Romero de Pablos, 1917
Mujeres científicas en la dictadura de Franco. Trayectorias investigadoras de Piedad de la Cierva y María Aránzazu Vigón. CSIC. Instituto de Filosofía. Revista ARENAL, 24:2; julio-diciembre 2017, 319-348
- E. M. Sánchez y S. M. López, 2020
Historia del uranio en España. De la minería a la fabricación del combustible nuclear, c. 1900-1986. Sociedad Nuclear Española, 2020
- SERAM Historia
Sociedad Española de Radiología Médica. <https://seram.es/index.php/26-historia>
- P. Soler, 2015
La obra científica de Ramón Ortiz Fornaguera (1916-1974): un capítulo de la física matemática, teórica y nuclear en la dictadura franquista. Actes d'història de la ciència i de la tècnica. Nova època. Volum 8, p. 9-55, 2015
<http://revistes.iec.cat/index.php/AHCT>
- USDOE, 2019
History of Dose, Risk, and Compensation Assessments for US Veterans of the 1966 Plutonium Cleanup in Palomares, Spain. Jan Beyea and Frank N. von Hippel. Health Phys, 2019 Dec.

Algunos enlaces consultados para la elaboración de este artículo

- Bureau International des Poids et Mesures: www.bipm.org
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas: www.ciemat.es
- Consejo de Seguridad Nuclear: www.csn.es
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas: www.csic.es
- Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S. A.: www.enresa.es
- Enusa Industrias Avanzadas, S.A.: www.enusa.es
- Foro de la Industria Nuclear Española: www.foronuclear.org
- International Association of Radiological Protection: www.irpa.net
- International Commission on Radiation Units and Measurements: www.icru.org
- Junta de Ampliación de Estudios: www.jae2010.csic.es
- Nuclear Energy Agency: www.oecd-nea.org
- Organismo Internacional de Energía Atómica: www.iaea.org
- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: www.rac.es
- Real Sociedad Española de Física: www.resef.es
- Revista General de Marina: www.armada.defensa.gob.es
- Sociedad Española de Física Médica: www.sefm.es
- Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular: www.semnim.es
- Sociedad Española de Oncología Radioterápica: www.seor.es
- Sociedad Española de Protección Radiológica: www.sepr.es
- Sociedad Española de Radiología Médica: www.seram.es
- Sociedad Nuclear Española: www.sne.es
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: www.unscear.org
- United States National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. Committees on the Biological Effects of Ionizing Radiation: www.nap.edu/initiative/committee-on-the-biological-effects-of-ionizing-radiation-beir-v

Y todas aquellas fuentes y personas que por error u omisión haya podido citar y no haya incluido en este listado.

Cristina González Ruiz. *Radiofísica Adjunta. 5º Dosimetría y Radioprotección. HGU Gregorio Marañón.*

Introducción

Con la experiencia acumulada desde su descubrimiento, se ha ido conociendo el perjuicio que ocasionan las radiaciones ionizantes en los organismos vivos, por lo que, su uso debe ser adecuadamente vigilado y justificado también con ocasión de las exposiciones médicas¹.

El efecto biológico resultante como acción de las mismas puede ser determinista, con muerte celular a partir de un umbral de dosis (el daño es proporcional a la dosis recibida) o estocástico, con periodo de latencia y efectos hereditarios con probabilidad de ocurrencia mayor al incrementarse la dosis absorbida.

El daño generado resulta tanto más importante cuanto menor es la edad de los individuos debido a dos motivos fundamentales: la afectación es más grave en los tejidos con alto grado de proliferación celular y, además, la esperanza de vida es mayor. El hecho de que sea teratogénico significa que, el efecto de la radiación dependerá de la fase de la gestación en la que el feto se vea expuesto.

Dadas estas premisas, históricamente se han tratado de limitar los procedimientos clínicos realizados con este tipo de radiaciones, particularmente en gestantes y, conforme se conocía la magnitud de los efectos y se asociaban las consecuencias con los niveles de dosis recibidos, se instaló la idea de la justificación (especialmente valorada en estos casos) donde se evalúa con detenimiento el beneficio de la realización de la prueba o tratamiento frente a los riesgos que de ella pudieran derivarse. En gestantes, esto significa la elección del tipo de examen y el mejor momento para hacerlo (excepto en los casos de urgencia vital). Conocidas las bajas dosis recibidas como consecuencia de las exploraciones más frecuentes, y el ínfimo incremento del riesgo que suponen, es habitual la justificación de estos estudios en pacientes gestantes dentro de la práctica clínica rutinaria.

En el Servicio de Dosimetría y Radioprotección del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid realizamos la evaluación dosimétrica de las dosis recibidas por el feto como consecuencia tanto de estudios diagnósticos como de tratamientos con radiaciones ionizantes que se ven sometidas pacientes gestantes, previa solicitud del médico prescriptor, mediante los métodos de cálculo definidos en la bibliografía y siguiendo los procedimientos diseñados por nuestro centro que se expondrán en este texto.

Áreas de uso clínico de las Radiaciones Ionizantes

Vamos a desglosar las peculiaridades en los distintos campos de aplicación de las radiaciones ionizantes en clínica, estudio diagnóstico o terapéutico, en que distinguimos tres grandes áreas:

RX (Radiodiagnóstico): Pruebas diagnósticas y guía con haces de RX de baja energía en terapia

Con la publicación en 1982 del *documento número 34 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-34)*² se estableció la forma de cálculo de las dosis recibidas por distintos órganos en exploraciones de Rayos X en función de las características de la prueba y la técnica, exceptuando las exploraciones de equipos de Tomografía Computerizada (CT). Anteriormente, el *documento ICRP-16*³ tan solo indicaba la preferencia de uso de métodos diagnósticos sin radiaciones ionizantes en estas pacientes o pruebas con campos del menor tamaño posible y técnicas de alto kV y haces filtrados para reducir la radiación dispersa.

En este texto² figura la tabla empleada para realizar el cálculo de la dosis absorbida por los diferentes órganos y tejidos afectados conocida la exposición de entrada del paciente (incluido el útero, que es el que consideramos equivalente al feto) en función de la calidad del haz de radiación (característica inherente al equipo), el tamaño del campo y la distancia foco-detector estándar para la exploración indicada y las diferentes técnicas diagnósticas (localización y proyección), obtenidas mediante métodos de cálculo de MonteCarlo (MC), (*Tabla 1*).

En nuestro centro, inicialmente, las estimaciones se hacían de forma manual, de acuerdo al ejemplo aportado en la bibliografía², ya que era escaso el número de solicitudes. Posteriormente, al incrementarse el número de peticiones, se diseñó una hoja de cálculo de tipo Excel, a través de la cual se obtenía el valor de la dosis y se generaba automáticamente el informe partiendo de los datos facilitados por el facultativo responsable de justificar la prueba, lo cual resultaba una ventaja en la rutina del procedimiento.

Table A7. Average absorbed dose (mGy) in the uterus (embryo) for selected x-ray projections.¹ 1 Gy entrance kerma (air kerma in air without backscatter)

Projection	View	SID (cm)	Image receptor size (cm) ²	Beam quality (HVL, mm Al)					
				1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Pelvis, lumbopelvic	AP	102	43.2 × 35.6	163	244	325	406	484	559
	LAT	102	35.6 × 43.2	15	29	45	64	86	112
Abdominal ³	AP	102	35.6 × 43.2	153	229	305	379	451	519
	PA	102	35.6 × 43.2	64	103	149	200	255	314
	LAT	102	35.6 × 43.2	15	26	43	61	82	105
	LAT	102	35.6 × 43.2	11	20	31	45	61	78
Lumbar spine	AP	102	35.6 × 43.2	147	217	287	355	421	482
	LAT	102	35.6 × 43.2	11	20	31	45	61	78
Hip (one side)	AP	102	35.4 × 30.4	121	176	230	281	328	373
	LAT	102	35.4 × 30.4	11	22	33	48	66	83
Full spine (chiropractic)	AP	183	35.6 × 91.4	177	266	354	442	526	606
	LAT	183	35.6 × 91.4	40	51	61	72	85	99
Urethrogram, cystography	AP	102	25.4 × 30.4	155	230	305	376	444	507
Upper G.I.	AP	102	35.6 × 43.2	11	18	29	39	52	64
	PA	102	35.6 × 43.2	3.5	7.6	13	19	26	34
	LAT	102	35.6 × 43.2	1.2	2.3	3.8	5.6	7.8	10
Femur (one side)	AP	102	17.8 × 43.2	1.8	3.5	5.5	8	11	14
Cholecystography	PA	102	25.4 × 30.4	0.8	1.7	3.0	4.7	6.9	9.5
Chest	AP	183	35.6 × 43.2	0.3	0.8	1.5	2.3	3.5	4.9
	PA	183	35.6 × 43.2	0.3	0.7	1.3	2.3	3.0	5.2
	LAT	183	35.6 × 43.2	0.1	0.3	0.6	0.9	1.4	2.1
Ribs, barium swallow	AP	102	35.6 × 43.2	0.1	0.3	0.6	1.0	1.5	2.3
	PA	102	35.6 × 43.2	0.1	0.3	0.6	1.0	1.7	2.5
	LAT	102	35.6 × 43.2	0.03	0.09	0.2	0.3	0.5	0.7
Thoracic spine	AP	102	35.6 × 43.2	0.2	0.5	0.9	1.5	2.4	3.0
	AP	102	17.8 × 43.2	0.1	0.3	0.6	0.9	1.5	1.7
	LAT	102	35.6 × 43.2	0.05	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9
Skull, cervical spine, scapula, shoulder, humerus	—	102	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Tabla 1. Tabla de dosis absorbida por útero según la dosis de entrada en función del tipo de exploración de RX y sus características (ICRP-34)²

A lo largo del tiempo este cálculo se fue refinando mediante interpolaciones más precisas de los valores de las tablas de cálculo originales del documento², si bien, esta precisión no aporta grandes diferencias en los resultados, ya que en las exploraciones más habituales solemos hablar de valores muy pequeños en lo que a dosis en feto se refiere, expresando siempre en el informe el valor máximo de dosis absorbida consecuencia de la exploración, ya que no se contemplan las diferentes medidas de protección radiológica reductoras de dosis que se incluyen en las técnicas de diagnóstico empleadas en estos casos y se calcula de acuerdo a un procedimiento estandarizado.

Actualmente, este cálculo se realiza mediante un programa en lenguaje Matlab, llamado *ESUT* (Fig. 1) cuya base son las mismas tablas y algoritmos del documento de referencia con las mejoras introducidas a lo largo de los años.

En las estimaciones de dosis de estudios diagnósticos con técnicas CT, también se utiliza una hoja Excel, pero en este caso elaborada por el organismo IMPACT (impactscan.org)⁴ colaborador del sistema de salud británico (NHS), cuya experiencia se basa en 25 años de seguimiento de exploraciones a pacientes. La elaboración de las tablas para el cálculo se consiguió mediante técnicas de simulación y cálculo de MC para los diferentes modelos de equipos y tecnologías existentes durante el tiempo del estudio y las técnicas de trabajo de los mismos.

Este grupo dejó de actualizar su hoja de cálculo en 2011, dado que las mejoras técnicas en los equipos disponibles no iban a modificar significativamente los valores de las tablas diseñadas para el cálculo de dosis en

Fig. 1 . Imagen del programa de cálculo propio diseñado en Matlab (ESUT) para realizar la estimación de la dosis en feto partiendo de la imagen clínica digital de RX adquirida almacenada en el PACS.

órganos (presentadas de acuerdo con los informes *ICRP-60*⁵ e *ICRP-103*⁶), por lo que seguimos usando la última versión disponible para las estimaciones en técnicas diagnósticas de este tipo.

En las terapias que emplean exploraciones con radiaciones ionizantes para llevarlas a cabo (hemodinámicas, vasculares, cirugías en tiempo real), las dosis recibidas pueden ser mayores, al incrementarse el tiempo de emisión de radiación durante la práctica, por lo que una de las posibilidades que se contemplan, una vez adecuadamente justificado el tratamiento, es posponerla hasta que se produzca el nacimiento, si es que fuera posible, o demorarla al momento (etapa de la gestación) en que sea más favorable, salvo en los casos de emergencia vital. En cualquier caso, se aplican todas las herramientas de protección radiológica disponibles, con especial cuidado para reducir las dosis en el feto todo lo posible: técnica optimizada, tamaños de campo reducidos, modos técnicos de baja dosis y material de protección radiológica. Si el embrión se ubica fuera del campo de radiación, aplicando todas las medidas de protección radiológica del sistema y del operador para mayor reducción de la dosis, ésta será muy pequeña. Si el feto está dentro del campo de radiación, a pesar del uso de las medidas de protección detalladas, la situación puede ser más comprometida al incrementarse la dosis.

La legislación española incluye (desde 1999) la obligación de aportar información en la historia clínica sobre la dosis absorbida por el feto como consecuencia de la irradiación clínica de la paciente con estas técnicas, *Real Decreto (RD) 1976/1999 por el que se establecen los criterios de calidad en Radiodiagnóstico*⁷ incidiendo además en la necesidad de justificar, con especial atención, las exploraciones al colectivo de mujeres gestantes, así como utilizar equipos y técnicas adecuadas y evaluar la dosis recibida en el útero como consecuencia de la exploración, cualquiera que sea ésta.

Actualmente se ha limitado el cálculo a los casos en que pueda ver afectada la zona abdominopélvica (donde se aloja el feto)^{10,11}.

Radiofármacos (Medicina Nuclear): Técnicas de terapia y diagnóstico

En las técnicas que emplean radiofármacos, la dosis absorbida es función de la actividad incorporada, además de depender de su cinética y biodistribución. Por ello, la primera medida de reducción de dosis en los casos en que el radionucleido se distribuye por el organismo, que son la inmensa mayoría, es reducir la actividad empleada. En el caso de las terapias, como la actividad es mucho mayor que en el propósito de diagnóstico y no es factible su reducción, salvo que pueda incorporarse de forma localizada, el embarazo es una contraindicación, soliendo posponerse el tratamiento hasta después del parto.

En este tipo de estudios diagnósticos no existía obligación de realizar la estimación de dosis en feto hasta 2013, ya que, en la legislación aplicable (*RD 1841/1997 por el que se establecen los criterios de calidad en Medicina Nuclear*)⁸, tan sólo se indica que, tanto en exploraciones diagnósticas como en terapia se deberán de tomar medidas para reducir la dosis en lo posible y en la justificación deberán de contemplarse, de forma cuidadosa, la urgencia y la reducción al mínimo de los riesgos (esto aplica tanto a mujeres gestantes, como a aquellas que estén en periodo de lactancia o capacidad de procrear).

Como consecuencia de la publicación de la *Directiva 2013/59/EURATOM, por la que se establecen normas de seguridad básica para la protección contra los peligros derivados de la exposición a Radiaciones Ionizantes*⁹, se ha actualizado la legislación española con el *RD 601/2019 sobre justificación y optimización del uso de las Radiaciones Ionizantes para la Protección Radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas*¹⁰,

generando un nuevo marco legislativo que ya expresa la obligación de realizar las estimaciones de dosis en feto en este tipo de estudios.

Con fecha de 18 de julio de 2023, se ha actualizado la legislación en esta área con el *RD 673/2023 por el que se establecen los criterios de calidad y seguridad de las unidades asistenciales de medicina nuclear*¹¹, donde se incluye la necesidad de incorporar este dato dosimétrico al historial clínico de la paciente gestante.

Para las estimaciones de dosis en los estudios de Medicina Nuclear, se necesita conocer la actividad incorporada y la cinética y biodistribución de marcador y radionucleido (órganos fuente y diana) proveniente de las tablas que figuran en los informes *ICRP-53*¹², *ICRP-62*¹³ y *ICRP-80*¹⁴.

En la elaboración de estas estimaciones el procedimiento empleado en nuestro centro es más simple que en el caso anterior, ya que tan solo disponemos de una hoja de cálculo tipo Excel basada en la elaborada por los radiofísicos *María Ángeles Ribas Ballarín y Pedro Ruiz Manzano del Hospital Lozano Blesa de Zaragoza* que emplea en el cálculo las tablas elaboradas por *Stabin et al*¹⁵ y que prepara el informe de dosis de forma automática.

Todas las tablas tienen como variables el tipo de estudio, el fármaco marcador (para valorar la distribución), el radionucleido (para saber la forma de deposición de la energía) y la edad gestacional. Conocidos estos datos, el valor de la dosis absorbida será proporcional a la actividad incorporada.

Técnicas de Radioterapia (con emisores de RX o fuentes radiactivas encapsuladas)

Estas técnicas son ampliamente usadas en el tratamiento de pacientes con cáncer.

Aunque esta enfermedad es poco frecuente durante el embarazo, existen casos en los que se da esta circunstancia, por lo que hay que tener protocolos y procedimientos bien establecidos para afrontarla.

La justificación en estos casos tiene que ser muy clara, ya que las cuestiones éticas y el análisis riesgo/beneficio para la gestante son muy diferentes a los del resto de pacientes. Se requiere buscar un tratamiento que permita controlar el tumor dándole al feto la oportunidad de tener una vida normal.

En las pacientes gestantes están contraindicados los tratamientos de radioterapia que incluyan la zona abdominopélvica, por lo que la opción es retrasarlos hasta el nacimiento siempre y cuando sea posible. En otro caso, la paciente no puede ser tratada sin consecuencias severas o letales para el feto (*ICRP-84 Pregnancy and Medical Radiation*)¹⁶.

Los tratamientos periféricos (alejados de la pelvis) pueden hacerse, cuidando la planificación e incorporando como órgano de riesgo el embrión. El uso de blindajes, para reducir en lo posible la radiación recibida por el feto como consecuencia de la radiación dispersa, y el resto de medidas hacen que estas terapias supongan bajas dosis y consecuentemente minimizan los riesgos para éste.

Los tumores más próximos a la zona pélvica, donde el feto recibe una dosis importante proveniente de la radiación dispersa, también deben de planificarse con los blindajes oportunos¹⁷, pero pueden provocar tumores malignos en órganos sólidos o leucemias infantiles y, dependiendo de la etapa del embarazo en que se produzca la irradiación y de la proximidad del campo de tratamiento, la disminución del coeficiente intelectual del niño.

En los casos en que la paciente haya descubierto la gestación durante el tratamiento, se resimulará el

mismo, incluyendo el feto como órgano de riesgo, para evaluar la dosis recibida por éste, con el sistema de planificación disponible en el centro para el diseño y cálculo de dosis en tratamientos de radioterapia.

En el área de radioterapia, la comunicación directa entre los especialistas implicados la generación y el diseño del tratamiento (oncólogo radioterápico y radiofísico), facilita la actuación coordinada y rápida para la evaluación de la dosis recibida por el feto.

La gravedad y frecuencia de los efectos adversos crece con la dosis recibida por el embrión, por lo que se tratará de reducir ésta y, consecuentemente el riesgo, al mínimo posible con todas las medidas al alcance¹⁷.

Solicitud de estimación y flujo de trabajo

El flujo de trabajo para la elaboración del informe dosimétrico se inicia cuando el facultativo responsable de la prueba que supone la irradiación de la gestante solicita al Servicio de Dosimetría y Radioprotección el informe de dosis absorbida por el embrión o feto consecuencia de la exploración realizada (en el área de radioterapia la comunicación es directa y, afortunadamente, el número de casos mínimo).

En nuestro centro, inicialmente, tanto la solicitud (ficha protocolizada) como el informe se tramitaban en formato papel a través del correo interno. Con ayuda de la tecnología, hemos ido evolucionando hasta conseguir que, tanto el formulario de petición como el informe emitido, estén alojados en la aplicación de la historia clínica del hospital y figuren en la carpeta clínica asignada a la paciente, obligatorio legalmente¹⁰, y a disposición de todos los profesionales que puedan tener algún interés o participación en el circuito informativo o de actuación. El radiofísico también tiene conocimiento de la existencia de una solicitud de estimación a través del sistema de gestión de Historia Clínica (HCIS).

La comunicación e inicio del itinerario, la automatización de todos los pasos del proceso, primero el cálculo cada vez más preciso, luego la recogida de datos directamente de la imagen obtenida en la exploración almacenada en el sistema PACS (sistema de archivo digital de imágenes) en formato DICOM sin necesidad de intermediario, y la emisión del informe, ha supuesto una mejora indispensable en los tiempos actuales, además de agilizar el proceso y evitar el extravío de información o la posibilidad de pérdida de confidencialidad de datos sensibles. El acceso de todos los implicados en el proceso a la información a través de la misma aplicación (HCIS) resulta muy ventajoso (*Fig. 2*).

El esquema de las diferentes etapas del procedimiento de actuación completo se representan en la *Fig. 3*.

Histórico de datos: Número y frecuencia de solicitudes

Tenemos registros de estimaciones de dosis en feto en pacientes gestantes desde el año 1986, siendo del orden del millar el número de casos totales calculados en nuestro hospital.

En radiodiagnóstico, en los primeros años, el número anual de solicitudes era muy reducido, debido probablemente a que el gran número de médicos prescriptores ignoraba el procedimiento para la solicitud o incluso la obligatoriedad de hacer la estimación desde 1999. Raro fue llegar a 20 peticiones en un único año. Otro motivo que incidía en esta escasez era el desconocimiento de la magnitud de la dosis absorbida por el feto generada con la prueba y los efectos sobre el mismo, lo que hacía que no se contemplase la posibilidad de solicitar un estudio con radiaciones ionizantes en pacientes embarazadas. Con el paso de los años, los conocimientos

DP	DR	Motivo de solicitud	Cama	Unenf	Muestras	Cita	Estado	Hospital	Desc. C. Pet	Desc. C. Rec	Desc. U. Pet
		Síntomas respiratorios					Realizado	CNF	Infantil	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		Fluore en gestante					Realizado	CNF	Maternidad	Maternidad	OBSTETRICIA ALTO RIESGO
		SE HACE PETICIÓN PARA HETER CARA...					Realizado	CORG	Maternidad	Maternidad	RADIOLOGIA (CTT)
		Radiografía de tórax simple en gesta...					Realizado	CANQU	Hospital General	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		ESTIMACIÓN DOSIS FETO					Realizado	CANQU	Maternidad	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		ESTIMACIÓN DOSIS FETO					Realizado	CANQU	Maternidad	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		TC TEP					Realizado	CANQU	Hospital General	Maternidad	OBSTETRICIA ALTO RIESGO
		Obstrucción - Nivel 3 - Dolor moderad...					Realizado	CANQU	Hospital General	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		Realización de tórax					Realizado	CANQU	Maternidad	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		Drona. Se realiza Radiografía de tórax...					Realizado	CANQU	Hospital General	Hospital General	RADIOLOGIA (CTT)
		Vómitos no activos en gestante + 22 ...					Realizado	CNF	Maternidad	Maternidad	OBSTETRICIA ALTO RIESGO
		Vómitos no activos en gestante + 22 ...					Realizado	CNF	Maternidad	Maternidad	OBSTETRICIA ALTO RIESGO
		Tis en paciente gestante					Realizado	CNF	Maternidad	Maternidad	OBSTETRICIA ALTO RIESGO

Fig. 2. Aspecto del menú de estimaciones realizadas con solicitud (columna DP) e informe asociado (columna DR) por paciente en HCIS.

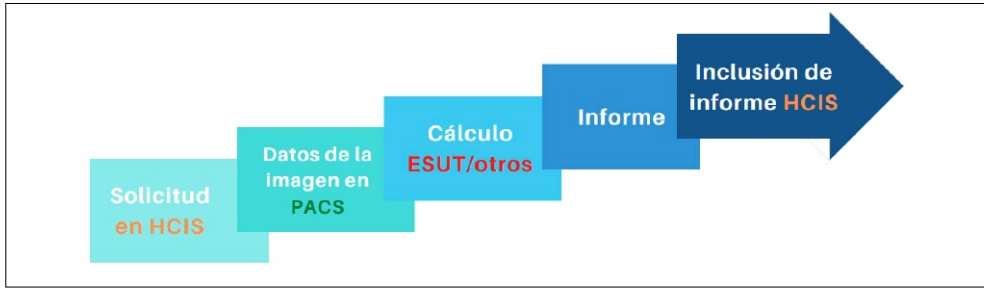


Fig. 3. Flujo actual de trabajo en el HGU Gregorio Marañón.

en esta materia se fueron afianzando y, a partir de 2002, establecido un procedimiento escrito robusto, con amplia divulgación entre los médicos radiólogos y demás prescriptores, formación en el tema y facilitación de formularios de solicitud por múltiples vías (incluida la intranet del hospital), es cuando se logra que sea habitual dentro de la rutina de trabajo realizar estos cálculos a solicitud del prescriptor. Desde ese año, el número medio anual de estimaciones roza la veintena, destacando dos picos en los años 2009 y 2020-2021 (Gráfico 1) consecuencia de sendos brotes epidémicos de enfermedades respiratorias que repercutieron gravemente en la población, afectando especialmente a las mujeres embarazadas (gripe A y COVID-19) y que supusieron, en el año de mayor presión asistencial, 60 y 150 cálculos respectivamente, con el rasgo común de tratarse de exploraciones de tórax debido a las características de las enfermedades citadas. Este tipo de estudios representan el mayor volumen de estimaciones del total que se solicitan (Gráfico 2) y suponen unos valores muy reducidos de dosis en feto (Tabla 2) al encontrarse éste fuera del campo de radiación y conllevar técnicas con escasa generación de radiación dispersa.

En técnicas de medicina nuclear se presentan uno o dos casos al año, habitualmente procedimientos de ventilación pulmonar, y todos ellos han sido en el último trimestre de la gestación, etapa menos lesiva ya que el organismo está prácticamente formado. Los valores de dosis absorbida calculados para el feto son muy pequeños (Tabla 5).

En radioterapia apenas se produce 1 caso cada 10 años en promedio.

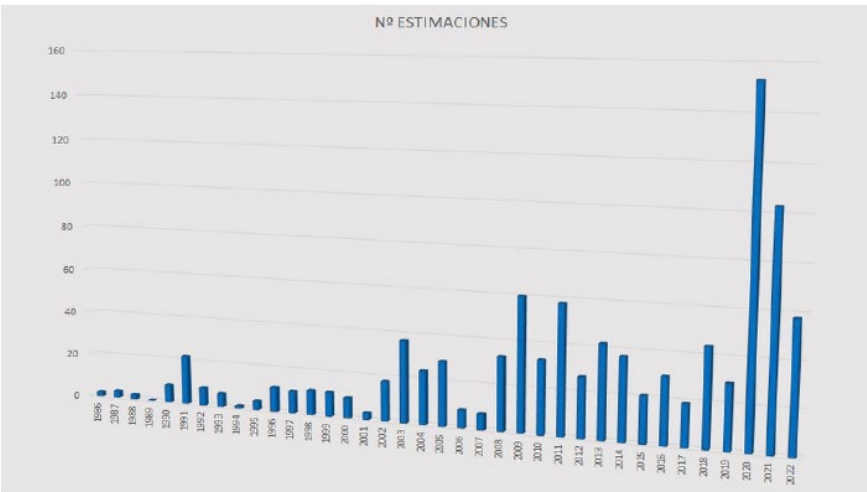


Gráfico 1. Evolución del número de estimaciones de dosis en feto solicitadas en nuestro centro.

Dosis asociadas a los estudios y actuación

Los valores de dosis absorbida por el feto en los estudios diagnósticos más frecuentes suelen ser muy bajos, inferiores incluso que los de las dosis consecuencia del fondo radiactivo natural. Esto se debe a que, en la mayoría de estudios realizados, el feto se encuentra fuera del haz primario, viéndose principalmente afectado por la radiación dispersa. En nuestros informes, se acompaña el valor obtenido en el cálculo en comparación

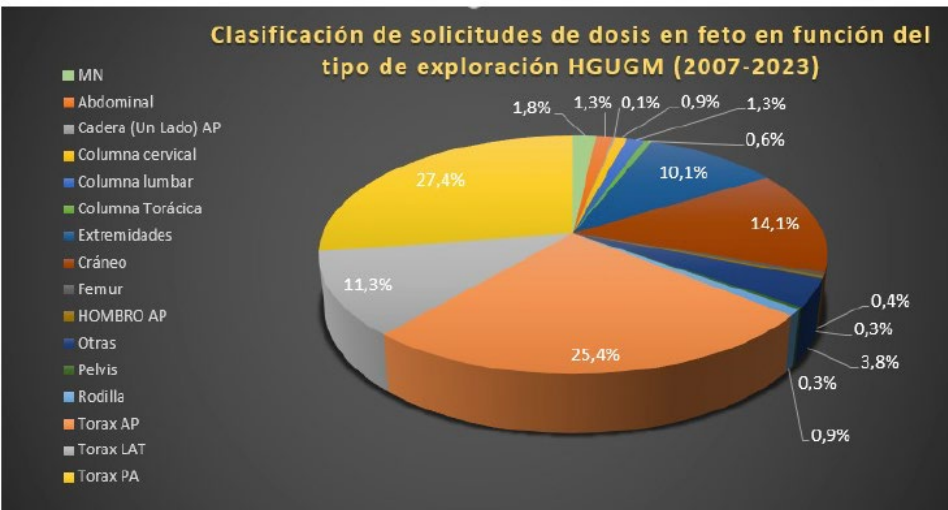


Gráfico 2. Porcentaje de solicitudes HGU Gregorio Marañón en función del tipo de prueba.

ESTUDIO	DOSIS MEDIA mGy	DOSIS MÁXIMA mGy
Abdomen	1,4	4,2
Tórax	<0,01	<0,01
Urografía/Columna lumbar	1,7	10,0
Pelvis	1,1	4,0
Cráneo/Columna torácica	<0,01	<0,01

Tabla 2. Dosis media y máxima en feto recibidas como consecuencia de exploraciones simples de RX en el Reino Unido (Adaptada de Sharp, Shrimpton, and Bury, 1998)¹⁶.

ESTUDIO	DOSIS MEDIA mGy	DOSIS MÁXIMA mGy
Tránsito GI	1,1	5,8
Enema de Ba	6,8	24,0
CT Cráneo	<0,005	<0,005
CT Tórax	0,06	1,0
CT Abdomen	8,0	49,0
CT Pelvis	25,0	80,0

Tabla 3. . Dosis media y máxima en feto consecuencia de estudios diagnósticos complejos y CT en el Reino Unido (Adaptada de Sharp, Shrimpton, and Bury, 1998)¹⁶.

con el valor del fondo radiactivo natural, indicando que, en estos casos, la dosis recibida como consecuencia de la exploración, no representa un riesgo adicional al intrínseco a la gestación.

Esto significa que, la realización de pruebas diagnósticas habituales no supone un incremento del riesgo para el feto, considerándose este tipo de procedimientos seguros y con los mismos beneficios o incluso mayores que en el resto de los pacientes.

Los valores calculados en nuestro centro para las exploraciones habituales son comparables a los aportados por la bibliografía (*Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5*), como es esperable, dado que usamos los mismos métodos de cálculo y tanto equipos como técnicas de trabajo similares.

Un estudio llevado a cabo en UK muestra la reducción de la dosis recibida por el feto a lo largo de los años, consecuencia de la optimización de las técnicas de trabajo, la tecnología y la aplicación de los principios fundamentales de protección radiológica (*Tabla 6*)¹⁸.

Tan sólo pueden suponer dosis absorbidas superiores a 1 mGy los estudios diagnósticos con RX con irradiación directa de la zona abdominopélvica, siendo especialmente altos en los estudios de tipo intervencionista con irradiación continua, estudios de CT de la misma región anatómica o las recibidas como consecuencia de tratamientos. Hay que tener en cuenta que en estas pruebas no puede emplearse la protección abdominal porque la región de interés coincide con la zona ocupada no puede emplearse la protección abdominal porque la región de interés coincide con la zona ocupada por el feto (*Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4*).

ESTUDIO	DOSIS	TIROIDES	MAMA	ÚTERO	OVARIOS	TESTÍCULOS
Cráneo	50,00	1,90	0,03	<0,005	<0,005	<0,005
Columna cervical	0,62	44,00	0,09	<0,005	<0,005	<0,005
Columna torácica	<0,04	0,46	28,0	0,02	0,02	<0,005
Pulmón	0,14	2,30	21,0	0,06	0,06	<0,005
Abdomen	<0,005	0,05	0,72	8,0	8,0	0,7
Columna lumbar	<0,005	0,01	0,13	2,4	2,7	0,06
Pelvis	<0,005	<0,005	0,03	26,0	23,0	1,7

Tabla 4. Dosis típicas en adultos (mGy) recibidas en diferentes órganos consecuencia de exploraciones CT con distintas localizaciones (Adaptada de Shrimpton et al., 1991)²⁰.

ESTUDIO	A (MBq)	ETAPA GESTACIONAL	
		INICIAL	9 MESES
gammagrafía ósea ^{99m} Tc (fosfato)	750	4,6-4,7	1,8
perfusión pulmonar ^{99m} Tc (MAA)	200	0,4-0,6	0,8
ventilación pulmonar ^{99m} Tc (aerosol)	40	0,1-0,3	0,1
gammagrafía hepática ^{99m} Tc (coloide)	300	0,6	1,1
gammagrafía tiroidea ^{99m} Tc (pertechnetato)	400	3,2-4,4	3,7
gammagrafía renal ^{99m} Tc (DTPA)	300	5,9-9,0	3,5
Hematíes marcados ^{99m} Tc	930	3,6-6,0	2,5
¹²³ I-captación tiroidea	30	0,4-0,6	0,3
¹³¹ I-captación tiroidea	1	0,03-0,04	0,2
¹³¹ I-metástasis	40,00	2,0-2,9	11,0

Tabla 5. . Dosis absorbidas en feto (mGy) consecuencia de exploraciones de Medicina Nuclear, en función la etapa de la gestación (Adaptada de Russell, Stabin, Sparks et al., 1997)¹⁶.

No es frecuente que se den valores superiores a 1 mGy, y mucho menos que se superen los 10 mGy, valor a partir del cual se considera necesario proporcionar una información detallada a la paciente y realizar un seguimiento de la gestación, o los 100 mGy, valor umbral establecido para la aparición de efectos deterministas que supongan malformaciones en el embrión o un incremento del riesgo de aparición de cánceres en el nacido y que, consiguientemente, se utiliza para decidir alguna actuación.

De acuerdo con la bibliografía^{1,16,17}, la interrupción del embarazo no está justificada para valores de dosis absorbida por el feto inferiores a 100 mGy. Para valores mayores, la decisión es individual para la gestante previa información, teniendo en cuenta que, a partir de 500 mGy, las consecuencias pueden ser variables, pudiéndose producir daños importantes dependiendo de la magnitud de la dosis y de la edad gestacional.

En el HGU Gregorio Marañón existe un Laboratorio de Dosimetría Biológica que, a su vez, es *Centro de Radiopatología* (dentro del Sº de Oncología Radioterápica), y se ocupa de la valoración del riesgo teratogénico en mujeres embarazadas informándolas, en caso necesario, de los riesgos y las posibilidades de actuación.

Actuaciones de Protección Radiológica

Los principales aspectos de actuación en materia de protección radiológica son, además de realizar la estimación de la dosis absorbida por el feto, informar mediante cartelera u otros documentos de la necesidad de

DOSIS FETAL ESTIMADA MEDIA Y MÁXIMA, SEGÚN EL TIPO DE ESTUDIO Y EN FUNCIÓN DEL AÑO EN QUE SE REALIZÓ EL ESTUDIO

Examen	Dosis Fetal en mSv (equivalencia en rem)			
	Media	Máxima	Media	Máxima
Radiología convencional	1993		1998	
Abdomen (sólo AP)	2,6 (0,26)	18 (1,8)	1,4 (0,14)	4,2 (0,42)
Enema de Bario	16 (1,6)	80 (8)	5,8 (0,58)	24 (2,4)
Papilla de Bario	2,8 (0,28)		1,1 (0,11)	5,8 (0,58)
Tórax	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)
Urografía intravenosa	3,2 (0,32)	20 (2)	1,7 (0,17)	10 (1)
Columna lumbar	3,2 (0,32)	12 (1,2)	1,7 (0,17)	10 (1)
Pelvis	1,7 (0,17)	8 (0,8)	1,1 (0,11)	4 (0,4)
Cráneo	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)
Columna dorsal	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)	<0,01 (-0)
Tomografía computada	1993		1998	
Abdomen	8 (0,8)	49 (4,9)	8 (0,8)	49 (4,9)
Tórax	0,06 (0,006)	0,95 (0,095)	0,06 (0,006)	0,95 (0,095)
Cabeza	<0,005 (-0)	<0,005 (-0)	<0,005 (-0)	<0,005 (-0)
Columna lumbar	2,4 (0,24)	8,5 (0,85)	2,4 (0,24)	8,5 (0,85)
Pelvis	25 (2,5)	79 (7,9)	25 (2,5)	79 (7,9)
Pelvimetría	0,2 (0,02)	0,4 (0,04)	0,2 (0,02)	0,4 (0,04)

Tabla 6. Resultados de evolución de la dosis en función del año de realización del estudio radiológico²⁰

comunicar el embarazo a los profesionales implicados con anterioridad a la prueba, para que, el responsable de la actuación clínica defina la justificación y elija la exploración más adecuada a la demanda diagnóstica dadas las peculiaridades y se responsabilice de aplicar todos los sistemas de protección radiológica disponibles: optimización de la técnica con reducción de tiempos de irradiación, empleo de modos de baja tasas de dosis, tamaños de campo reducidos, elección del momento de la gestación adecuado para realizar la prueba, etc.

En el caso de estudios de medicina nuclear, además de lo anterior, se cuidará la selección de la prueba a la más adecuada compatible con el diagnóstico buscado y se reducirá la actividad administrada en lo posible favoreciendo la hidratación y la eliminación del radiofármaco para reducir la dosis.

Además, se dispondrá de un documento de consentimiento informado para conocimiento de los detalles por parte de la paciente, donde figurarán recomendaciones y aspectos significativos de la exploración o tratamiento, mediante el que ésta dé su autorización para la prueba.

Exceptuando los casos de urgencia vital de la paciente, las pruebas se programarán de acuerdo con la edad gestacional, en el momento más idóneo para reducir el riesgo del feto en lo posible, especialmente en los estudios de medicina nuclear o terapias que suponen mayores dosis absorbidas, que es donde más importante es la influencia de éste.

Existe abundante documentación informativa, trípticos¹⁹ y carteles, de gran utilidad, promocionados por el Ministerio de Sanidad y el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) y las sociedades científicas competentes en la materia SEFM (Sociedad Española de Física Médica) y SEPR (Sociedad Española de Protección Radiológica).

En ellos se refleja la obligación de realizar la estimación de la dosis recibida por el feto cuando la exploración comprenda la zona torácico-pélvica (entre cuello y rodillas) y se informa de que las dosis consecuencia de la mayoría de las exploraciones habituales en técnicas de diagnóstico con radiaciones ionizantes no suponen un incremento apreciable del riesgo de muerte prenatal, malformación o disminución del desarrollo respecto a la incidencia natural.

Informa además de que, en las etapas iniciales del embarazo (primeros días, previos a la implantación del embrión), el riesgo, en caso de producirse alguna afectación, es la no implantación o muerte del mismo sin llegar a detectarse el embarazo (más probable que cualquier otro daño celular con efectos en el desarrollo). Es la conocida como *ley del todo o nada*.

De hecho, recuerda que no existe legislación nacional o internacional que aconseje tomar medidas para dosis inferiores a 100 mSv (valor inferior a prácticamente todas las pruebas diagnósticas).

En la *Fig. 4* se muestra un resumen de riesgos y actuaciones que se han de llevar a cabo en función los valores de dosis absorbida por el feto de acuerdo con el documento bibliográfico *ICRP-84*¹⁶.

RIESGOS Y ACTUACIÓN	
RIESGOS INTRÍNECOS EN GESTANTES NO EXPUESTAS A RADIACIONES IONIZANTES	INTERRUPCIÓN DEL EMBARAZO
Aborto espontáneo >15%	< 100 mGy No justificada
Anomalías genéticas 4-10%	100-500 mGy Decisión individual tras información
Retraso en crecimiento 4%	> 500 mGy Decisión individual tras información
Gran malformación 2-4%	
ACTUACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIS	
< 1 mGy	Caso más probable. Riesgo igual a gestantes no expuestas. Información a la paciente y en historia clínica informe con cálculo de dosis en feto expresado con valor numérico y comparación con el fondo radiactivo natural
1-10 mGy	Riesgo igual a gestantes no expuestas. Información a la paciente y en Hª Clínica informe con cálculo de dosis en feto
10-100 mGy	Información, informe de estimación de dosis absorbida por el feto en Hª Clínica de la paciente y seguimiento de la gestación y resultado de la misma
100-1000 mGy	Riesgo en función de la fase de la gestación

Fig. 4. Resumen de riesgos y actuación en función del valor de la dosis absorbida por el feto¹⁶

Bibliografía

1. De Santis, E. et al. Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis: A review of literatura. Reproductive Toxicology, Vol. 20, Issue 3, 323-329, 2005.
2. ICRP-34. Protection of the Patient in Diagnostic Radiology, 1982.
3. ICRP-16. Protection of the Patient in X-ray Diagnosis. 1969.
4. ImpACT's CT Dosimetry Tool. Impactscan.org.
5. ICRP-60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1990.
6. ICRP-103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.
7. RD 1976/1999 por el que se establecen los criterios de calidad en Radiodiagnóstico.
8. RD 1841/1997 por el que se establecen los criterios de calidad en Medicina Nuclear.
9. Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.
10. RD 601/2019 sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas.
11. RD 673/2023 por el que se establecen los criterios de calidad y seguridad de las unidades asistenciales de Medicina Nuclear.
12. ICRP-53. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, 1988.
13. ICRP-62. Radiological Protection in Biomedical Research, 1992.
14. ICRP-80. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP-53), 1998.
15. Fetal Dose Calculation Workbook. M.G. Stabin, 1997.
16. ICRP-84. Pregnancy and Medical Radiation, 2000.
17. Fetal dose from Radiotherapy with photon beams: Report of AAPM, Radiation Therapy Committee Task Group N° 36, 1995.
18. Sharp C, Shrimpton JA, Burry RF. Diagnostic medical exposures: advice on exposure to ionizing radiation during pregnancy. National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon, UK, 1998.
19. Tríptico CSN. Embarazo y Radiación ¿Qué necesito saber?
20. ICRP-87. Managing patient dose in Computed Tomography, 2000.

Albert Biete, Carlos Ferrer y Jose Pardo. SEOR

Aplicación Sanitaria de Rayos X y Radioprotección

Poco tiempo después del descubrimiento de los rayos X por Roentgen en noviembre de 1895, se empezaron a utilizar en Medicina, tanto en el campo diagnóstico como terapéutico. Efectivamente, la exposición a esta nueva forma de energía tenía efectos antineoplásicos y antiinflamatorios que rápidamente se utilizaron en diversas indicaciones. Ya en 1896 se describen los primeros tratamientos y en Barcelona, en febrero del mismo año, se realiza por Comas la primera sesión demostrativa radiológica en la Facultad de Medicina. También el descubrimiento del Radio por M. Curie en 1898 propició su uso en numerosas afecciones dermatológicas y ginecológicas, ya que la radiación emitida tenía efectos similares a los de los rayos X. Freund en Viena y Grubbe en Estados Unidos descubren ya los efectos de las radiaciones, depilación de un nevus piloso extenso o bien la acción antineoplásica en un cáncer localmente avanzado.

Aparte de los usos médicos, hubo una difusión amplia de las exhibiciones radiológicas. En circos y ferias se hacían demostraciones, en las que los que manejaban los aparatos se irradiaban de forma considerable. Igual pasaba con los médicos y enfermeras que sometían a exploraciones radiológicas a sus pacientes. Pocos años después se advirtieron las primeras lesiones causadas por la exposición. Dada la escasa penetración de los rayos X generados por los primeros tubos, los daños aparecían principalmente en la piel: dermatitis crónicas, depilación, queratosis actínicas y cánceres de piel afectaron a los primeros operadores que utilizaban los rayos X y el radio.

Las bases de la radioprotección inicial se fundamentaron en la absorción diferencial del haz de rayos X y en que ésta aumentaba con el número atómico del material interpuesto entre la fuente y la superficie cutánea. Mediante estos hechos se pudo establecer el concepto de capa hemireductora (CHU o HVL).

Las ampollas o tubos de rayos X antiguos emitían un haz direccional preferente pero no exclusivo, lo que producía una irradiación en todas las direcciones del espacio. Sí a ello le unimos la radiación secundaria producida por las interacciones del haz primario, tenemos como resultado una dosis excesiva en zonas del cuerpo del paciente no exploradas y en el operador del aparato.

La primera medida que se adoptó fue el blindaje del tubo mediante un casquete envolvente de plomo con una apertura, a la que más tarde se incorporó un colimador, que permitía la salida del haz principal (fig. 1). La elección del plomo se debió a varias razones: su delgada capa hemi-reductora debido a su elevado número atómico, su maleabilidad y su coste asumible. El siguiente paso fue el blindaje de la sala de radioterapia. Las tensiones de tubo utilizadas al inicio (50-100kV) eran útiles solamente en lesiones cutáneas debido a su escasa penetración, pero ya a partir de 1920 se empezaron a utilizar tubos con tensiones de 250-300kV que permitían tratar lesiones más profundas. El blindaje de las paredes se realizó mediante láminas de plomo de espesores variables, habitualmente entre uno y tres milímetros.

En las épocas iniciales, los operadores permanecían en la sala de tratamiento, por lo que se empezaron a utilizar delantales y guantes de goma plomada (fig. 2). También se introdujo el uso del cristal plomado, tanto en gafas protectoras como en ventanas. Así, tal como refiere Schincaglia en 1919, *"el mejor medio para impedir ser*

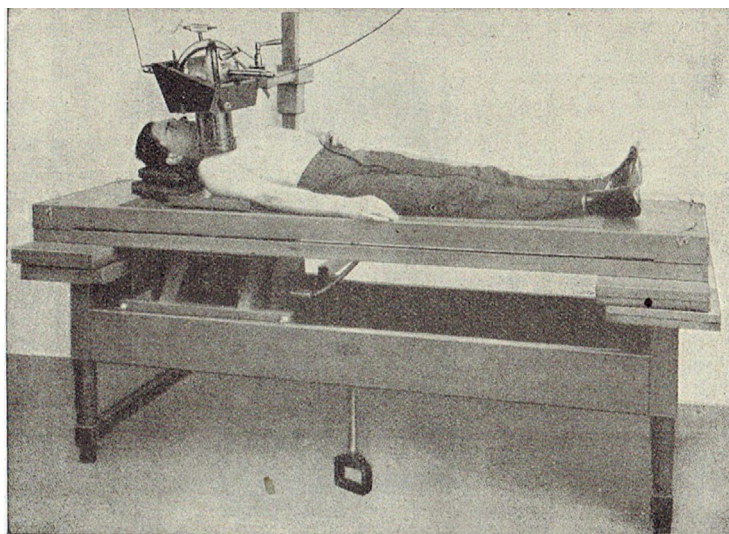


Fig. 45. — Estativo limitador-compresor, aplicado a la mesa de operaciones.

Fig. 1. Tubo de RX para radioterapia. Ya se ha incorporado el colimador, que también actúa como compresor, y la protección plomada de la mitad del cabezal más próximo al paciente. La mesa de tratamiento la denomina el autor “mesa de operaciones”. Tomado de Schincaglia. “Elementos de Técnica Röntgenológica”. Salvat, Barcelona, 1919

alcanzado por los rayos Roentgen es el de encerrarse dentro de una cabina tapizada de plomo durante una sesión radioterápica, observando el tubo y al paciente a través de una ventana con cristal plomífero. Dentro de la cabina se tendrán montados todos los mecanismos de maniobra de la instalación”. Vemos pues que el autor ya en esta época temprana introduce otra gran novedad en la radioprotección del operador: los mandos a distancia en una cabina radioprotendida. Ya son de uso común dos de los tres pilares de la protección: el blindaje y la distancia. El tercero, el factor tiempo, será más relevante en las aplicaciones de braquiterapia con radio que en los procedimientos de radioterapia externa en que el escaso débito del tubo y la poca penetración del haz, enlentecían los procedimientos.

En los primeros años de la utilización de los rayos X o rayos Roentgen como también se les llamó en homenaje al descubridor, era de creencia común que los rayos contaminaban el ambiente de la sala de tratamiento. El autor citado, introduce unos preceptos de higiene radiológica, entre los que el del final abunda en esta creencia con la siguiente recomendación: “*Todos aquellos que estén obligados a permanecer muchas horas en un ambiente saturado por los rayos X observarán escrupulosamente al menos el reposo festivo y pasarán este día higiénicamente en el campo*”.

En relación con la radioprotección del paciente sometido a radioterapia, se fueron introduciendo paulatina-

mente elementos de protección. Así, por ejemplo, el aumento de la tensión del tubo permitió la interposición de filtros de aluminio y cobre que absorbían los fotones de menor energía y por tanto de menor penetración. El paso de los llamados “rayos duros” del espectro fue un factor decisivo en la protección de la piel, tanto en los usos diagnósticos como terapéuticos. La introducción de colimadores de diámetros diversos y posteriormente diafragmas, permitió la obtención de haces colimados con menor penumbra geométrica. Otra ventaja añadida a la de la mayor energía de los rayos X fue la disminución de la dispersión lateral con lo que las curvas de rendimiento en profundidad mejoraron, tanto en penetración como en menor dosis en los tejidos vecinos al volumen de interés.

También contribuyó a la protección del paciente el aumento del “rate” o tasa de dosis, con una disminución significativa del tiempo total de irradiación. Finalmente, el uso de láminas de plomo maleables y por lo tanto adaptables a la morfología de la superficie cutánea permitió una protección eficaz de áreas vecinas a la tratada o bien órganos de interés como ojos, ovarios o testículos.

Con el paulatino advenimiento de los nuevos generadores de alta energía, tanto de rayos gamma (unidades de ^{60}Co y ^{137}Cs) como de rayos X (betatrones y aceleradores lineales), el blindaje mediante láminas de plomo se reveló insuficiente, sustituyéndose por espesores variables de hormigón, normal o baritado, o bien ladrillos de aleaciones de alta densidad (Ledite o similares). También con los nuevos haces de alta penetración y escasa penumbra y dispersión lateral, la dosis integral al paciente ha disminuido de forma significativa

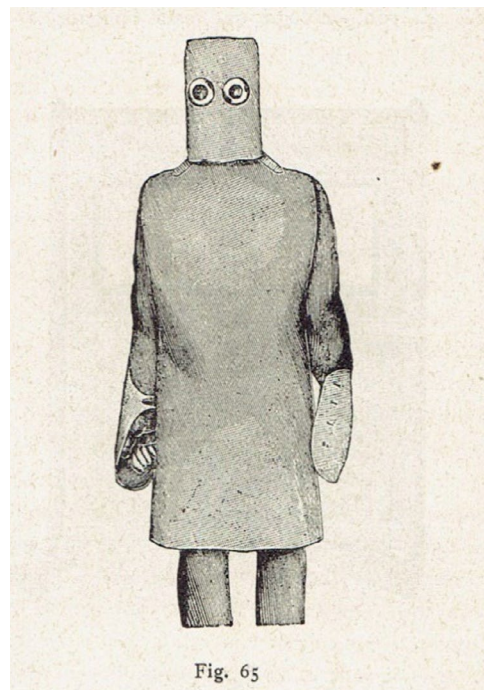


Fig. 2. Máxima protección. En vez del delantal plomado el operador viste un traje integral de goma plomada, con protección de las manos, cabeza y los ojos con cristales también plomados.
Schincaglia, op. cit. 1919

Los Tratamientos Médicos con Equipos de Alta Energía de Cobalto

La llegada de las altas energías significó un avance decisivo en los tratamientos oncológicos con radiación. Los primeros equipos se desarrollaron en Canadá y EEUU, casi a la par en la década de 1950, para ello fue fundamental bombardear con neutrones en un reactor nuclear el Co^{59} , para obtener un isótopo estable, el Co^{60} , con un período de semidesintegración de 5.6 años, dotado de una gran actividad por masa del metal y una energía media de 1,25 MeV (dos fotones gamma de 1.17 y 1.33 MeV).

En España los primeros equipos de alta energía se instalaron en la Clínica Ruber de Madrid en 1957 y en Barcelona en 1958 en el Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

En paralelo, se desarrollaban en España en aquellos años, las instituciones públicas que vendrían a gobernar todo lo relacionado con las radiaciones ionizantes, constituyéndose por decreto Ley del 22 de octubre de 1951 la Junta de Energía Nuclear.



Fig. 3. Cuadro que representa al Dr. Chicotot tratando mediante rayos X a una paciente con un cáncer de mama en 1907. El autor de la pintura es el propio médico y puede observarse como el tubo carece de protección plomada. Tampoco el Dr. Chicotot viste delantal plomado ni protección en las manos. El cuadro se halla en el Museo de los Hospitales de la Asistencia Pública de París. (Foto: A. Biete).



Fig 4. La primera unidad de Telecobaltoterapia en España.

El incremento de las energías que representó la introducción del Co^{60} constituyó un salto cualitativo en cuanto a la protección radiológica de las unidades de terapia; pues hasta el momento, habitualmente, la energía empleada era de 200 Kv, por lo que la protección se basaba en su ubicación en habitaciones plomadas. A partir de la introducción de las altas energías del rango de MeVs comenzó en los servicios de Oncología Radio-terápica el empleo de barreras estructurales de más envergadura, como los bunkers de hormigón convencional y de alta densidad.

Así, los equipos de alta energía de cobalto se fundamentaban en que la fuente estaba incluida en un cabezal de tungsteno, se extraía de su posición de reposo a la ventana de tratamiento por un pistón neumático (bomba neumática) de ahí que coloquialmente recibieran el nombre de bombas de cobalto. En caso de que, por rotura del pistón, la fuente no volviese a su posición de reposo, existía un vástago metálico (fig 5) con el que, de manera manual se podía empujar la fuente a la posición de reposo. En aquellos años esta era una de las maniobras de emergencia que se simulaban por parte de los operadores, de manera que el procedimiento de intervención consistía, en primer lugar, caso de existir fluido eléctrico, se rotaba la cabeza para que el haz de radiación no incidiera en dirección a la puerta de entrada del bunker, minimizando la exposición directa del operador al haz de radiación, a continuación, uno de los operadores se responsabilizaba de entrar y evacuar al paciente, dotado de su dosímetro personal (lo cual no estuvo en uso en España hasta los años 70). A continuación, dicho operador empujaba la fuente hacia atrás al interior del cabezal llevándola a su estado de reposo, y el otro operador, cronómetro en mano, se responsabilizaba de medir en tiempo empleado en el procedimiento y de esta manera se simulaba el procedimiento de emergencia, minimizando la duración del proceso.

En 1941 se construyó el primer acelerador circular de partículas. En España el primer Betatrón comenzó su instalación en 1970 en el H Clínico Universitario de Valencia, no estando operativo para uso clínico hasta 1976. Se trataba de un Asklepitron 45 de Brow Boverly (fig. 6) dotado de una energía de 45 MeV por lo que las paredes del bunker (fig. 7) tenían un espesor de hormigón de alta densidad, de más de 2 m en donde se producía

la incidencia del haz. En la figura 8 podemos ver el rendimiento en profundidad de las diferentes energías que emitían aquellos equipos hoy en día muy por encima de las empleadas en uso clínico y con las consecuentes dificultades sobreañadidas en protección radiológica.

Este tipo de unidades estaban dotadas de una movilidad muy limitada y fueron un paso intermedio entre las unidades de cobalto y los futuros aceleradores lineales.

Sin embargo, la gran novedad de los aceleradores tanto circulares como lineales, en aquellos momentos, fue su aportación a la protección radiológica, pues al ser equipos alimentados por energía eléctrica no generaban residuos radiactivos desarrollándose finalmente de modo predominante los aceleradores lineales, los cuales por su operatividad acabaron imponiéndose.

Regulación y Normativa

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, la Organización Mundial de la Salud y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los efectos de las radiaciones ionizantes emitieron una serie de recomendaciones dirigidas a prevenir las exposiciones médicas abusivas a radiaciones.

Atendiendo a dichas recomendaciones, el Consejo de las Comunidades Europeas emitió la **Directiva del Consejo 84/466/EURATOM de 3 de septiembre de 1984** («Diario Oficial de las Comunidades Europeas» L265/1, de 5 de octubre) en la que se especificaban las medidas fundamentales relativas a la protección radiológica de los pacientes, para mejorar la calidad y eficacia del acto radiológico médico, evitando exposiciones inadecuadas o excesivas, sin impedir el uso de las radiaciones ionizantes en el plano de la detección precoz, diagnóstico o tratamiento de las enfermedades.

En nuestro país se efectuó la transposición de dicha Directiva mediante la publicación del **Real Decreto 1132/1990, de 14 de septiembre**, con carácter de norma básica sanitaria, por el que se establecían medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y procedimientos médicos.

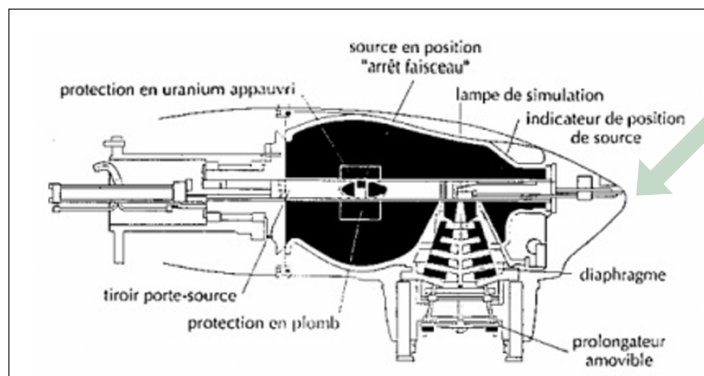


Fig. 5. vástago de seguridad en el cabezal de una unidad de Telecobaltoterapia.

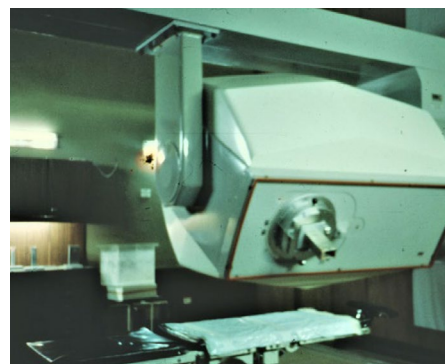


Fig. 6. Betatrón Asklepitron 45 del H Clínico Universitario de Valencia. 1975.

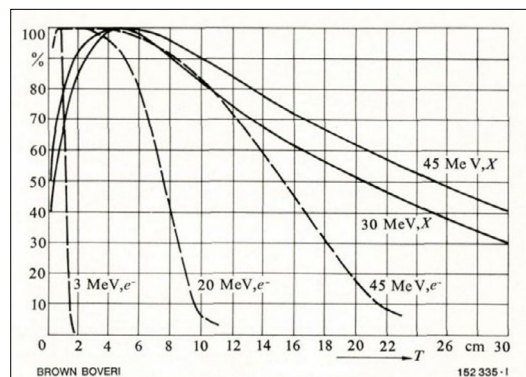


Fig. 7. Rendimiento en profundidad diferentes energías Betatrón Asklepitron 45

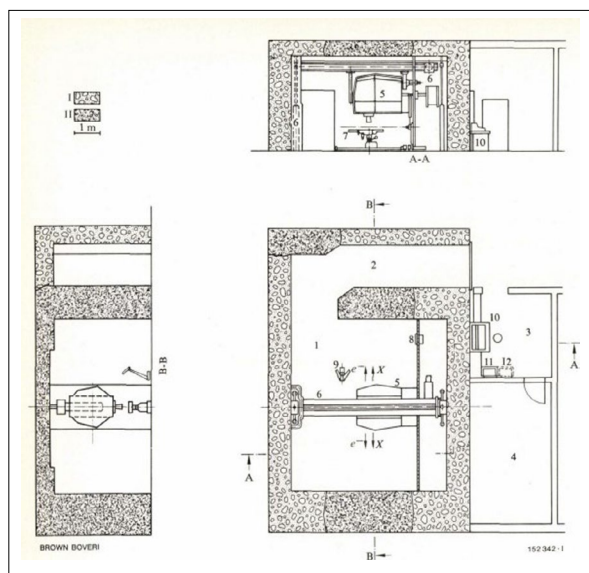


Fig. 8. Estructura del Bunker del Betatrón Asklepitron 45 del H Clínico Universitario de Valencia.

Tenía únicamente 6 artículos y 3 disposiciones adicionales en las que ya se mencionaba la justificación de la exposición, la responsabilidad y capacitación de los profesionales, la inspección y vigilancia estricta por parte de la Autoridad Sanitaria competente, el criterio ALARA (aunque no expresado con este nombre), y la necesidad de disponer en las instalaciones de un experto cualificado en radiofísica.

Disponía la vigilancia estricta, por parte de las autoridades sanitarias, de las instalaciones médicas en las que se utilizaban radiaciones ionizantes y atribuyo al Ministerio de Sanidad y Consumo la tarea de elaborar un Censo Nacional de instalaciones de radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear. Esto no excluía el cumplimiento, en su caso, de lo expuesto en el anterior Real Decreto 2869/12972 de 21 de julio sobre el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.

Desde entonces no se produjo un acontecimiento crucial en lo que se refiere a la Oncología Radioterápica hasta la publicación en el BOE del 28 de agosto de 1998 del **Real decreto 1566/1998, de 17 de julio, por el que se establecían los criterios de calidad en radioterapia**, también como norma

básica sanitaria. Se publicó con 20 artículos, cuatro disposiciones adicionales, una transitoria, una final y tres anexos.

Por primera vez se exige la implantación de un **Programa de Garantía de Calidad** en las unidades asistenciales de radioterapia y en sus instalaciones y menciona los requisitos mínimos para la aprobación y homologación de las instalaciones de centros y servicios.

Asimismo, especifica las obligaciones del Titular de la Instalación en cuanto a la implantación del programa de garantía de calidad y a creación de una **Comisión de Garantía y Control de Calidad en Radioterapia**, para su desarrollo y ejecución. También en lo que se refiere al nombramiento de los responsables de las unidades asistenciales de Radioterapia y Radiofísica.

Por primera vez se especifica que los tratamientos de radioterapia se llevarán a cabo bajo la dirección y responsabilidad de un médico especialista en oncología radioterápica. Mencionando la obligatoriedad de la actualización periódica de los procedimientos en radioterapia.

También se especifican las pruebas de aceptación del equipamiento con las responsabilidades de las empresas suministradoras del equipamiento, y del establecimiento del estado inicial del mismo, de acuerdo con las pruebas y tolerancias que establece su Anexo II, estableciendo programas de control de calidad tanto de las etapas clínicas como del equipamiento que deberán ajustarse a protocolos establecidos, aceptados y refrendados por sociedades científicas, organismos o instituciones nacionales o internacionales, competentes y de reconocida solvencia.

Asimismo, por primera vez se menciona la realización de auditorías que verifiquen el correcto cumplimiento de la normativa que especifica el Real Decreto.

Por todo lo anterior y varias razones más, que sería prolijo tratar con más detalle, la publicación de este Real Decreto supuso un antes y un después en los servicios de Oncología Radioterápica y Física Médica-Protección Radiológica.

Dicho decreto, sigue en vigor actualmente, aunque pronto será sustituido por el nuevo **Real Decreto que establecerá los criterios de calidad y seguridad en las unidades asistenciales de radioterapia.**

En 2001, para incorporar la **Directiva 97/43/EURATOM**, del Consejo, de 30 de junio, relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas, se publicó el **Real Decreto 815/2001, de 13 de julio, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de las exposiciones médicas.**

Prohíbe expresamente todas las exposiciones médicas a radiaciones ionizantes que no puedan justificarse, tanto por los posibles riesgos biológicos de dicha exposición como por razones medicolegales. Los criterios en que se base dicha justificación deben estar incorporados en el plan de garantía de calidad de las unidades asistenciales.

El Decreto, define las responsabilidades en las exposiciones médicas por razones de diagnóstico o terapia y especifica el tipo de formación en Protección Radiológica que deben efectuar los profesionales implicados en los procedimientos, en su programa formativo y en la actualización de sus conocimientos participando en actividades de formación continuada, según su nivel de responsabilidad.

La autoridad sanitaria competente deberá acreditar estos programas de formación continuada.

Finalmente especifica que los sistemas de auditoría establecidos en los Reales Decretos 1841/1997, 1566/1998 y 1976/1999, deberán tener en cuenta los objetivos previstos en este Real Decreto, a los efectos de la certificación de los correspondientes programas de garantía de calidad.

Este Real Decreto fue actualizado, en cumplimiento y transposición de la **Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo, de 5 de diciembre**, a nuestra legislación, por el **Real Decreto 601/2019/, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas.**

Su propósito es la mejora en la justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes con ocasión de exposiciones médicas, y con ello el aumento de la protección radiológica de las personas sometidas a las mismas.

Propone requisitos estrictos en lo que se refiere a la información al paciente, al registro y notificación de las dosis de los procedimientos médico-radiológicos, al uso de niveles de referencia para diagnóstico y a la disponibilidad de dispositivos indicadores de dosis.

Puntualiza la necesidad de la existencia de un alto nivel de competencia y una clara definición de responsabilidades y funciones de todos los profesionales con implicación en la exposición médica.

Por primera vez en nuestra legislación se considera el tema del análisis de riesgos para prevenir las exposiciones médicas accidentales y no intencionadas.

En un artículo dedicado expreso al tema, exige que las unidades asistenciales de radioterapia implementen

procedimientos de registro, notificación, análisis y establecimiento de las medidas correctoras correspondientes, de los incidentes y cuasi-incidentes.

También, se refiere de nuevo la importancia de la formación en Protección Radiológica de los profesionales y define las responsabilidades y funciones de estos, con especial referencia a las responsabilidades específicas del especialista en Radiofísica Hospitalaria en relación con las exposiciones médicas.

En la actualidad, como se ha mencionado más arriba, estamos a la espera de la aparición del nuevo ***Real Decreto que establecerá los criterios de calidad y seguridad en las unidades asistenciales de radioterapia*** que actualizará y sustituirá al todavía vigente Real decreto 1566/1998, de 17 de julio, por el que se establecían los criterios de calidad en radioterapia.

¹ http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/550850078_4122009123549.pdf

² https://library.e.abb.com/public/e19e56464102412bb5426fce0eeae294/bbc_mitteilungen_1971_e_01.pdf?x-sign=oO2pY6BhCqU31fk8iJH2BDNtjkrX4gHFr76VWswzWBjy1MqyZPguvvdLUeoZW7DS No se indica en el texto

Luis Concepción Aramendía. *Hospital General Universitario Dr. Balmis, Alicante.*
Responsable Asuntos Profesionales SERAM

Más de la mitad de las exploraciones y procedimientos realizado en un Servicio de Radiodiagnóstico utilizan radiaciones ionizantes. En concreto todas aquellas que utilizan técnicas radiográficas simples, la tomografía computarizada, y los procedimientos realizados bajo escopia.

La protección radiológica debe atender siempre en diferentes direcciones ya que debe contemplarse hacia la población en general, entendida ésta como simples acompañantes o aquellas personas asintomáticas que participan en programas de salud, para los pacientes en las que el beneficio de las exposiciones siempre debe exceder el riesgo como también dirigida a proteger a los profesionales que deben poder llevar a cabo su trabajo sin un riesgo asociado superior al de la población general.

Así, en radiodiagnóstico al igual que en otras disciplinas médicas que emplean radiaciones ionizantes los espacios físicos deben estar adecuadamente identificados según la dosis a la que potencialmente se puede exponer aquellos que entren en las mismas y sobre la entrada de estas colocarse signos luminosos de alerta cuando los equipos se encuentran en funcionamiento (1).

La concienciación de la importancia de la protección radiológica tanto de profesionales como de pacientes llegó a la radiología española como en otras áreas del mundo tras sufrir en primera persona los pioneros las consecuencias de la exposición excesiva y no adecuadamente controlada, situación por la que se les reconoce, al igual que en otros países, como “mártires” (2). En aquellos equipos primitivos ya se implementaron estrategias de radio protección para trabajadores tales como la limitación permanencia o de tiempo de exposición, el aumento de la distancia entre operadores y fuentes, así como la interposición de barreras físicas entre estos y la utilización de equipos de protección individual como los visibles en la figura siguiente. El lector interesado puede encontrar un repaso histórico de la evolución de los métodos de protección a los trabajadores expuestos a lo largo del más de un siglo que ha transcurrido desde que se usan (3)



En la legislación española (1) se considerarán expuestos cuando puedan recibir dosis superiores a 1 mSv por año oficial y se clasifican en dos categorías:

- **Categoría A:** personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis superior 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, en que es preciso emplear sistemas de dosimetría individual con control periódico mensual, y según su dedicación emplear monitorización no sólo estandarizada de solapa sino además de muñeca, así como realizar controles de salud obligatorios con periodicidad anual. Deberán emplear equipos de protección individual que incluyen delantales, gafas, guantes, así como barreras asociadas a los equipos.

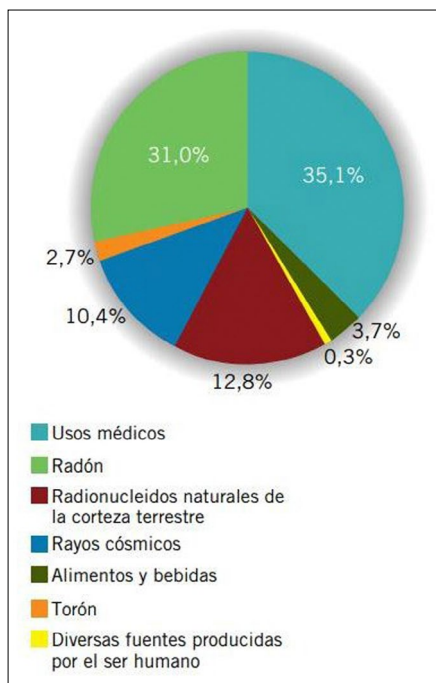


• **Categoría B:** personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades. En estos es suficiente que queden vigilados mediante la determinación anual de dosimetría de área.

Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos durante toda la vida laboral se registran en el historial dosimétrico individual que se mantendrá debidamente actualizado y estará a disposición del propio trabajador (4).

Tras el empleo de las bombas atómicas en la segunda guerra mundial, la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció en 1955 el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) cuya función es evaluar e informar los niveles y efectos de la exposición a la radiación ionizante.

Este organismo realiza un informe periódico de frecuentación de pruebas (5) que ha sido de gran ayuda para la planificación de la asistencia sanitaria y la comparabilidad entre sistemas sanitarios. y ha puesto el foco en el crecimiento exponencial de la exposición a radiaciones ionizantes por los actos médicos como muestra la siguiente figura en el que se observa que el radiodiagnóstico médico es la mayor fuente de exposición tras la radiación natural.



Por ello para un adecuado uso de estas técnicas es imprescindible que existan autoridades regulatorias independientes (6). En España ese papel lo desempeña el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). A él le corresponde autorizar la puesta en marcha y supervisar las instalaciones de radiodiagnóstico, que con independencia de su localización en espacios diferenciados quedan recogidas administrativamente en una única Unidad Asistencial de Radiodiagnóstico bajo la responsabilidad de un titular, persona jurídica.

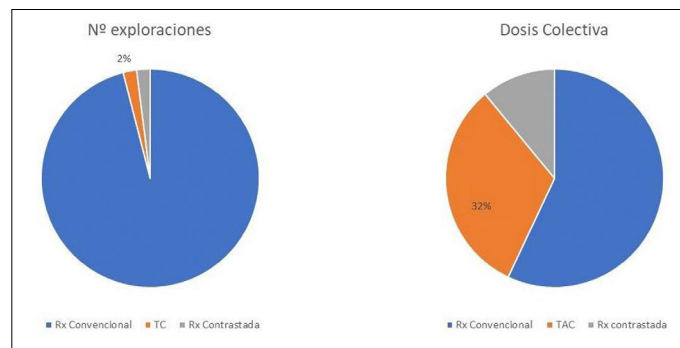
La exposición a las radiaciones en los servicios de radiodiagnóstico emplea dosis individuales por prueba o procedimiento relativamente bajas por lo

que salvo negligencia en su uso no resultan en daños determinísticos. El equipamiento, y las dosis asociadas a ellas son las que marcan los requisitos de vigilancia. En la actualidad los servicios de radiodiagnóstico se consideran de segunda categoría o tercera categoría, siendo de la primera aquellos que disponga de técnicas que imparten mayor dosis como la Tomografía Computarizada o los sistemas de escopia. Todas las personas que emplean los equipos deben estar en disposición de la correspondiente licencia de operador.

En el entorno europeo existe legislación armonizada de obligada transcripción a la normativa de los estados miembros. Aún con retraso, la directiva vigente EUROATOM 59/2013(7) que constituye la principal norma regulatoria vigente a nivel europeo fue transcrita finalmente al RD 601/2019 (8).

El valor de dosis efectiva per caput debida al conjunto de procedimientos de radiodiagnóstico médico en España se ha estimado en el estudio DOPOES2(9) en $1,19 \pm 0,43$ mSv para el año 2017 lo que supone un incremento respecto al estudio inicial de similar metodología realizado en 2011. Y es que desde su introducción por Hounsfield (10) la Tomografía Computarizada ocupa una piedra angular en el radiodiagnóstico y en la medicina moderna por su papel preponderante en la evaluación de la patología de urgencia y en el diagnóstico, planificación terapéutica y control de la enfermedad oncológica.

Resulta muy significativo, en términos de protección radiológica el papel que juega esta técnica en el incremento de su uso en la dosis colectiva recibida como lo pone de manifiesto a nivel global de forma repetida el informe UNSCEAR. Así, por ejemplo, el estudio de dosimetría realizado por Esparza y colaboradores (11) en el que, inclusive en una población altamente sensible como la pediátrica, y por tanto en el que el principio de justificación se vigila con más celo, la figura muestra que pese a constituir tan sólo un 2 % de las exploraciones realizadas, la exposición inducida por las pruebas de TC representaba el 32% de la dosis colectiva.



Este incremento del número de exploraciones y de la dosis colectiva es una fuente de preocupación ya que se conoce por estudios de supervivientes a accidentes nucleares que existe la posibilidad de un incremento de riesgo de padecer cáncer en pacientes asociados a bajas dosis (efectos estocásticos). El reconocimiento de la importancia específica de la radio protección en el empleo de las radiaciones ionizantes en la práctica médica quedó recogido en el *Llamamiento a la acción de Bonn* (12), tras la conferencia organizada por la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) en diciembre de 2012 en esa ciudad y cuyas propuestas de mejora se recogen en la tabla siguiente:

Acción 1: Mejorar la implementación del principio de justificación

Acción 2: Mejorar la implementación del principio de optimización de la protección y la seguridad

Acción 3: Fortalecer el papel de los fabricantes en contribuir al régimen global de seguridad

Acción 4: Fortalecer la formación y capacitación de los profesionales de la salud en materia de protección radiológica

Acción 5: Determinar y promover una agenda de investigación estratégica para la protección radiológica en medicina

Acción 6: Aumentar la disponibilidad de información mundial mejorada sobre exposiciones médicas y sobre exposición ocupacional en medicina

Acción 7: Mejorar la prevención de los incidentes y accidentes en los usos médicos de la radiación

Acción 8: Fortalecer la cultura de la seguridad radiológica en la asistencia sanitaria

Acción 9: Propiciar un mejor diálogo sobre el riesgo / beneficio de la radiación

Acción 10: Fortalecer la implementación de requisitos de seguridad a nivel mundial

Los radiólogos españoles, de forma global representados en su sociedad científico profesional la SERAM, están concienciados de su responsabilidad en el control de los riesgos asociados al empleo de métodos diagnósticos con técnicas de radiaciones ionizantes. Este compromiso se reafirmó en 2015 a través del documento "Posición SERAM sobre los riesgos asociados a las dosis de radiación utilizadas en las exploraciones practicadas en radiodiagnóstico" (13). En este se recomienda una estrategia basada en cuatro pilares.

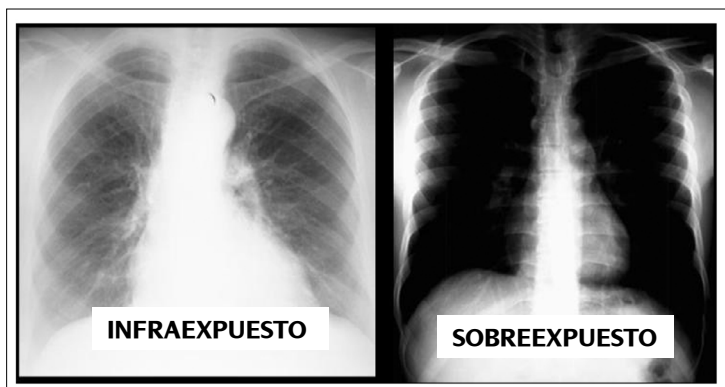
Una práctica radiológica apropiada:

En el periodo de radiología fotográfica era clave para la limitación de la exposición una elevada atención a la técnica para evitar repeticiones por infra o sobreexposición como muestra la figura siguiente que podría llevar a triplicar la dosis necesaria para conseguir la misma información. Esta circunstancia se controlaba midiendo la tasa de rechazo (número de placas desechadas sobre proyecciones adquiridas). La digitalización de la adquisición ha facilitado la obtención de imágenes con densidad y contraste predeterminado resultando más complejo para el operador determinar si ha empleado

la dosis apropiada. Para ello se ha desarrollado un índice de exposición (14). Este es uno de los indicadores que debe monitorizarse en el Plan de Garantía de Calidad, del que deben disponer todos los Servicios de Radiodiagnóstico (15).

Ningún esfuerzo puede reducir la magnitud de la exposición de dosis asociada a un estudio más que la no realización de éste. *El principio de Justificación* supone que no se debería adoptar ninguna práctica que suponga la exposición a radiaciones salvo que ésta implique un beneficio neto positivo para los individuos expuestos o

para la sociedad, que sea suficiente como para compensar el detrimento causado. Este principio fue desarrollado en nuestro marco jurídico en 2001 (16) y permanece en el vigente RD 601/2019. Para instrumentarlo adecuadamente es importante que el paciente ofrezca la información más veraz posible al prescriptor, conocer la disponibilidad de pruebas previas para no repetir exposiciones innecesarias y adecuada accesibilidad de otras técnicas que no empleen radiaciones ionizantes tales como la ecografía o la resonancia magnética (17).



A este efecto aparecieron documentos de orientación para prescriptores tales como el mostrado en la imagen adyacente desarrollado por la Xunta en 2008 (18), y otros similares de otras instituciones, aunque su integración y uso en la práctica clínica, así como su revisión y actualización continúa no han sido efectivos (19), abogándose en la actualidad su sustitución por sistemas de apoyo a la decisión clínica integrados en los sistemas de tecnología de la información y en el flujo de trabajo de la solicitud de pruebas diagnósticas destacando en esto el esfuerzo realizado por la European Society of Radiology (ESR) con su iniciativa Iguide (20) dentro del marco de la estrategia Eurosafe Imaging, cuya misión es apoyar y fortalecer la protección radiológica médica en toda Europa siguiendo un enfoque holístico e inclusivo (21).

La preocupación por la limitación al uso de los estudios radiológicos no sólo está influenciada por la protección radiológica sino también por la sostenibilidad económica de los sistemas sanitarios en un entorno de costes crecientes y envejecimiento poblacional. Siguiendo esta estela de otras sociedades científicas y ante el aumento incontrolado de los costes asociados a la atención sanitaria, diversas instituciones hicieron un llamamiento a abandonar las pruebas de bajo valor. En este contexto la

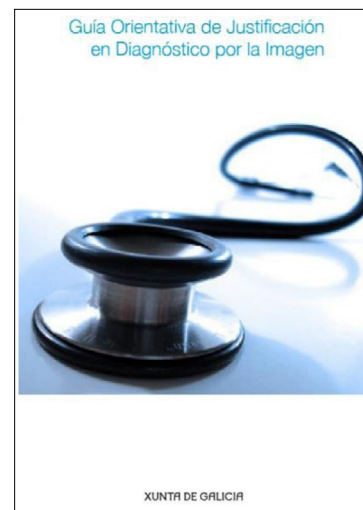
SERAM publicó en 2017 sus reglas de NO HACER en el que se recopilaban hasta pruebas en las que la baja rentabilidad justificaba el abandono de su utilización (22)

El segundo principio fundamental de la protección radiológica en radiodiagnóstico es el *principio de optimización*. El término ALARA corresponde a las siglas inglesas de la expresión “tan bajo como sea razonablemente posible” (*As Low As Reasonably Achievable*). Todas las exposiciones a la radiación deben ser mantenidas a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos de las instalaciones y el entorno en que se trabaje. Un concepto clave a tener en cuenta, reforzado en la normativa emanada de la Directiva EURATOM vigente es que no existe límite en la dosis para pacientes y es que en estos pese al interés en limitarla al mínimo se emplearán el número de estudios necesarios y la dosis en éstos que permita una calidad suficiente para el diagnóstico, de lo contrario se habrá sometido a un riesgo limitando el máximo beneficio que es alcanzar un diagnóstico certero.

Lo importante, y se ha demostrado, es que con independencia de los equipos en los que se trabaje la reducción de dosis, inclusive en técnicas como la tomografía computarizada y en países con diferente grado de tecnología es posible minimizar la exposición manteniendo la calidad contando con personal entrenado (23,24).

El tercer pilar de protección radiológica en radiodiagnóstico es el establecimiento de niveles de dosis de referencia.

El gobierno tramita en el momento actual la transposición a nuestra normativa de los artículos de la directiva EURATOM 59/2013 relacionados con las exploraciones no médicas, tales como la detección mediante radiografías de cuerpos extraños en el interior de las personas por motivos legales.



Formación en radioprotección

La formación es, sin duda, un elemento imprescindible y garantía de protección radiológica tanto para el trabajador como para los pacientes. En este sentido es necesario disponer en nuestro país de una licencia de operador para poder trabajar con equipos que emitan radiaciones ionizantes. En concreto además es necesaria una formación mayor, denominada de segundo nivel para todos aquellos especialistas que trabajen con equipos de escopia.

Un ejemplo claro de que el conocimiento es cambiante y exige adaptarse continuamente a los condicionantes existentes en cada instalación. Así, las mejoras técnicas de los equipos de adquisición digital directa han hecho que algunos axiomas hayan sido revisados como el beneficio asociado a usar blindajes de superficie en los pacientes como históricamente se hacía con los pacientes en edad pediátrica en los que se trataba de proteger las gónadas como muestran las imágenes no sean recomendados en la actualidad ya que estas protecciones interfieren con algunas de las técnicas empleadas para la reducción de dosis y con los sistemas de interrupción de disparo en dosimetría automática.

Por esto varias sociedades científicas han publicado un consenso recientemente (), recogido en la tabla adjunta, indicando las situaciones, pocas, en las que todavía podría estar indicado su uso.

Información a la población

La adecuada preocupación de los profesionales por limitar las radiaciones en ocasiones tiene efectos indeseados en la comunicación al poder generar alarma social en la población general que extrae conclusiones genéricas sin atender a las peculiaridades de cada exposición. Por ello resulta muy importante la labor didáctica

PROTECTOR	MODALIDAD DE IMAGEN	LOCALIZACIÓN DEL PROTECTOR DENTRO DEL CAMPO DE VISIÓN O DE LA IMAGEN, FUERA O AMBOS	RECOMENDACIÓN
GONADAL	Todas	Ambos	 No se recomienda usar
TIROIDEO	Todas (excepto cefalometría)	Dentro	 No se recomienda usar
	Cefalometría	Dentro	 Puede usarse
	RX*, MAMO*, Fluoroscopia, TC*	Fuera	 No se recomienda usar
	Dental (intraoral y cefalometría)	Fuera	 Puede usarse
	CBCT*	Fuera	 Puede usarse
MAMARIO	Todas	Ambos	 No se recomienda usar
CRISTALINO	Todas	Ambos	 No se recomienda usar
FETAL	Todas	Ambos	 No se recomienda usar

permanente con la sociedad civil. La labor de los radiólogos y de aquellos otros profesionales que trabajan en imagen médica, a través de sus sociedades científicas ponen en valor su labor en los últimos años a través de la celebración cada 8 de noviembre conmemorando el aniversario de William Röntgen el Día Internacional de la Radiología y es un buen vehículo para la concienciación de la población en el uso adecuado de estas exploraciones.

Con respecto a la necesidad de consentimiento informado escrito por la exposición a radiaciones ionizantes existe consenso que la nueva normativa exige la explicitación de éstos en aquellas pruebas como los procedimientos bajo escopia en que se puedan producir efectos determinísticos tales como depilación o lesiones cutáneas, aunque éstos no deberían ocurrir si se siguen normas adecuadas tales como rotación de los planos de incidencia.

EMBARAZO

Una situación de protección radiológica especial la constituye el embarazo dónde a nivel de las pacientes debe extremarse la justificación, especialmente en el primer trimestre. Resultando de gran importancia que las pacientes sean alertadas antes de la realización de las pruebas mediante cartelería específica y preguntas dirigidas en aquellos casos que se vaya a practicar una prueba que incluya exposición del área pélvica especialmente con dosis más elevadas como en el caso de la Tomografía computarizada.

En cuanto a las trabajadoras según la normativa de los servicios de prevención no podrán realizar actividades que supongan riesgo de exposición a radiaciones ionizantes cuando, de acuerdo con las conclusiones obtenidas en una evaluación de riesgos, pueda existir peligro para su seguridad o la del feto. A

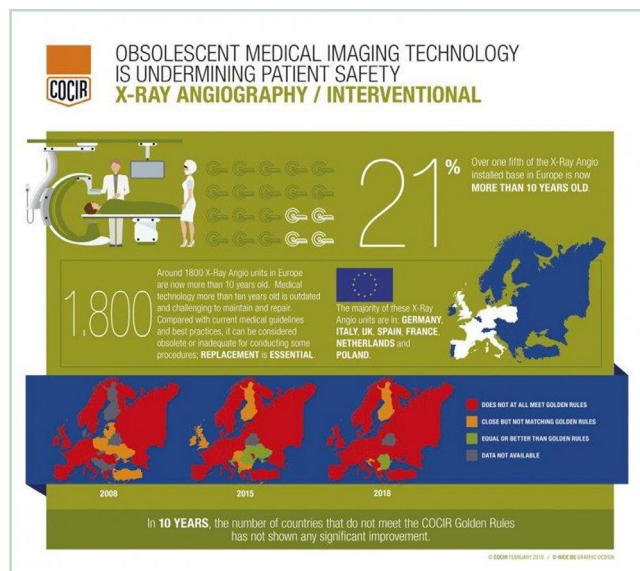
este respecto se ha reclamado recientemente la revisión de las actuales normativas (nacionales, autonómicas o locales) de exclusión forzosa de trabajo de los trabajadoras gestantes en salas con fluoroscopia ya que la dosis recibida con las adecuadas protecciones es inferior a la dosis considerada potencialmente lesiva para el feto ().

Medidas sobre el equipamiento

Al igual que en otras disciplinas los esfuerzos por limitar las dosis necesarias han sido múltiples normativos, técnicos, de formación de personal y operativos, pero sin duda uno de los principales tiene que ver con las características del equipamiento. Así, por ejemplo, el RD ya prohibía los sistemas de fluoroscopia directa en España situación que ha progresado en la normativa vigente en la que quedan prohibidos aquellos dispositivos que no controlen automáticamente la tasa de dosis.

La renovación tecnológica es clave para limitar las dosis empleadas y para maximizar el concepto ALARA. Para ello, la asociación de fabricantes de dispositivos europeos (COCIR) introdujo en 2003 las llamadas reglas de oro y presentan a las autoridades informes periódicos que recogen la necesidad de renovación de equipos. En España, a diferencia de nuestra vecina Francia, la legislación no recoge la obligatoriedad de la sustituir los mismos





tras un periodo determinado. La SERAM generó una guía que recoge las recomendaciones de sustitución tecnológica acorde a la intensidad de uso de los equipos (27)

En conclusión, las técnicas de imagen que emplean radiaciones ionizantes juegan un papel básico en la medicina moderna pero los radiólogos y los TSID españoles están concienciados y son imprescindibles para que el uso de estas se haga empleando las mínimas dosis necesarias y limitando los riesgos asociados tanto para los trabajadores, el público general y los pacientes.

Referencias

1. Real Decreto 783-2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes
2. Cesar Comas and Agusti Pri: Pioneers and Martyrs of Spanish Radiology. Martinez-Noguera A, Montserrat E, Garcia T, Larrosa. Radiographics 1996; 16(5):1216-1220
3. Boice J, Dauer LT, Kase KR, Mettler FA, Vetter RJ. Evolution of radiation protection for medical workers. Br J Radiol 2020;93: 20200282. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200282>
4. Pascual Benes A., Gadea Carrera. NTP 614. Radiaciones ionizantes: normas de protección. Instituto nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Accesible en https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_614.pdf/ef28c36c-66d4-4bc9-a5cb-451c705927a9
5. UNSCEAR 2020/2021 REPORT VOL. I: "SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION" accesible en https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/UNSCEAR_2020_21_Annex-A.pdf
6. Arias C. La regulación de la protección radiológica y la función de las autoridades de salud. Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health 20(2/3);2006
7. Directiva 2013-59-EURATOM, del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan otras. Accesible en <https://www.boe.es/doue/2014/013/L00001-00073.pdf>
8. Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas
9. Proyecto DOPOES II. Informe ejecutivo. Niveles de referencia de dosis (NRD) y estimación de Dosis Poblacional en España. Accesible en [https://www.csn.es/documents/10182/2399922/Niveles%20de%20referencia%20de%20dosis%20\(NRD\)%20y%20%20estimaci%C3%B3n%20de%20Dosis%20Poblacional%20en%20%20Espa%C3%B1a%20\(DOPOES%20II%20-%20Resumen%20ejecutivo\)](https://www.csn.es/documents/10182/2399922/Niveles%20de%20referencia%20de%20dosis%20(NRD)%20y%20%20estimaci%C3%B3n%20de%20Dosis%20Poblacional%20en%20%20Espa%C3%B1a%20(DOPOES%20II%20-%20Resumen%20ejecutivo))
10. Hounsfield GN. Computed medical imaging. Nobel lecture, December 8, 1979. J Comput Assist Tomogr. 1980 oct;4(5):665-74. doi: 10.1097/00004728-198010000-00017. PMID: 6997341.

11. Esparza et al. Exposición a la radiación de la población pediátrica en radiodiagnóstico. Un estudio de Pamplona y su comarca. Radiología. 2008;50(1):61-6
12. Bonn call for action. Accesible en <https://www.who.int/publications/m/item/bonn-call-for-action>
13. Posición SERAM sobre los riesgos asociados a las dosis de radiación utilizadas en las exploraciones practicadas en radiodiagnóstico. Septiembre 2015 Documentos SERAM. Accesible en <https://seram.es/documentos-de-seram/>
14. Seeram E. The New Exposure Indicator for Digital Radiography. Journal of Medical imaging and radiation sciences 2014;45(2):144-158. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2014.02.004>
15. Real Decreto 1976/1999, de 23 de diciembre, por el que se establecen los criterios de calidad en radiodiagnóstico. Boletín Oficial del Estado n.º 311. (29-12-1999)
16. Real Decreto 815/2001, de 13 de julio, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas.
17. Ahvonen P, Oikarinen H, Pääkko E, Karttunen A, Blanco Sequeiros R, Tervonen O. Justification of CT examinations in young adults and children can be improved by education, guideline implementation and increased MRI capacity. Br J Radiol 2013; 86:20130337
18. Guía Orientativa de Justificación en Diagnóstico por la Imagen. Xunta de Galicia. 2008. Accesible en <https://www.sergas.es/Docs/Profesional/BoaPraticaClinica/Guia%20Orientativa%20diganostico%20por%20im agen.pdf>
19. Justificación de pruebas diagnósticas con radiaciones ionizantes en Pediatría. Información para médicos-prescriptores. Accesible en https://www.ffis.es/ups/proteccion_radiologica_radiologia_intervencionista/Informacion_%20Radioproteccion.pdf
20. Iguide. Accesible en <https://www.myesr.org/esriguide>
21. Eurosafe Imaging. Accesible en <http://www.eurosafeimaging.org/>
22. Recomendaciones de “no hacer”. SERAM. Madrid 2017. Accesible en https://seram.es/wp-content/uploads/2021/09/doc_seram_recom_no_hacer1.pdf
23. Yu L et al. Radiation dose reduction in computed tomography: techniques and future perspective Imaging Med. 2009 October; 1(1): 65–84. doi:10.2217/iim.09.5.
24. Dose Reduction in CT while Maintaining Diagnostic Confidence: A Feasibility/Demonstration Study. IAEA-TECDOC-1621.
25. Hiles, P., Gilligan, P., Damilakis, J. et al. European consensus on patient contact shielding. Insights Imaging 12, 194 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01085-4>
26. Trabajadoras gestantes <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20de%20las%20trabajadoras%20gestantes%20expuestas%20a%20radiaciones%20ionizantes%20en%20el%20%C3%A1mbito%20sanitario>
27. S. Lojo Lendoiro, T. Moreno Sánchez, Radiación ocupacional y embarazo: realidad o desinformación. Revisión en la literatura y actualización según guías clínicas vigentes, Radiología, Volume 64, Issue 2, 2022, Pages 128-135, ISSN 0033-8338, <https://doi.org/10.1016/j.rx.2021.11.004>.
28. Trapero MA, López I. Guía para la renovación actualización tecnológica en radiología. 2017

Javier Orcajo Rincón, Amaia Mari Hualde, Laura Reguera Berenguer.

Servicio de Medicina Nuclear, Hospital General Universitario Gregorio Marañón

Introducción

La medicina nuclear, como especialidad médica en rápido crecimiento y que basa su aplicación clínica en el empleo de radiaciones ionizantes, es un área de gran interés cuando se centra la atención en el ámbito de la radioprotección, tanto del paciente sobre el que se lleva a cabo el procedimiento como del personal sanitario que participa en su aplicación. Dentro de las distintas fuentes de radiación a las que está expuesta la población, las técnicas de medicina nuclear representan aproximadamente el 4%(1).

Llevar a cabo procedimientos de medicina nuclear, aun conociendo el daño potencial de las dosis absorbidas de radiación, implica, por tanto, y según recomienda la Comisión Internacional de Protección Radiológica, un correcto y adecuado estudio personalizado del riesgo-beneficio en cada paciente, para lo cual se considera la justificación del estudio o terapia, se optimiza la exposición según principio ALARA y se establecen límites de exposición al personal expuesto(2).

El core de esta especialidad médica asienta en dos pilares fundamentales, pero de implicación completamente distinta: las técnicas diagnósticas, dirigidas en un alto porcentaje de los casos a pacientes oncológicos, pero también dirigidas al estudio de diversas patologías no oncológicas en adultos y en niños; y los procedimientos terapéuticos mediante la administración de distintos radiofármacos para la producción de radioterapia interna selectiva.

El rápido crecimiento de la especialidad ha dependido directamente de la síntesis de nuevos radiofármacos, capaces de conseguir una alta afinidad por los tejidos a estudio y del diseño de nuevos equipos diagnósticos, actualmente en su mayoría híbridos, es decir, capaces de aunar en una única imagen la información molecular o metabólica de la medicina nuclear y la imagen radiológica, con mayor resolución espacial y que permite la correcta localización de las alteraciones moleculares. Esto, de alguna manera, ha hecho más complejo el estudio de la radioprotección en pacientes que acuden a un Servicio de Medicina Nuclear y en el personal sanitario, al sumar, en un único procedimiento, las variables dependientes de la radiación interna (proveniente del radiofármaco administrado por vía oral, endovenosa, intraarterial, inhalada o tópica) y la externa (proveniente de los equipos de tomografía computarizada, acoplados a las gammacámaras y al PET).

Las variables de interés que condicionan la radioprotección en un servicio de medicina nuclear dependerán, por tanto, del tipo de radiación (externa o interna) y, dentro de la radiación interna, del tipo de desintegración y energía del radioisótopo empleado que, a su vez, estará determinado por la intención diagnóstica o terapéutica del procedimiento. En el ámbito de aplicación clínica se emplean tres tipos de emisión radiactiva: las partículas α , partículas β y rayos γ , además de los rayos χ resultantes de varios fenómenos de interacción con la materia. El poder de penetración de cada una de las partículas difiere significativamente

y, por tanto, condiciona las medidas de radioprotección a aplicar. El poder de penetración de una partícula α es muy pobre, siendo posible detenerla solo con una hoja de papel. Se requiere una partícula α con una energía de 7.5 MeV para penetrar la piel humana. La partícula β , sin embargo, tiene un poder de penetración 100 veces mayor a pesar de su corto rango de penetración, del orden de 1cm debido a su rápida desaceleración por la interacción con la materia; mientras que los rayos γ tienen un alto rango de penetración, pero con un poder de absorción muy bajo por parte del tejido, de alrededor del 3% de su energía. Estos tres tipos de radiación condicionarán las medidas que cada Servicio de Medicina Nuclear debe implementar para su creciente empleo.

Las nuevas tendencias de aplicación clínica apuntan a la llamada "Teragnosis", procedimiento por el cual es posible, en una misma patología a estudio, realizar la exploración diagnóstica y el procedimiento terapéutico con un mismo ligando con alta afinidad por el tejido a estudio, simplemente modificando el radionucleido. Así, por ejemplo, ante un paciente con un tumor de tipo neuroendocrino, en el que se sobreexpresan receptores de somatostatina en la membrana celular tumoral, podremos realizar el diagnóstico de la enfermedad con una molécula de octreótide, afín a tales receptores, marcada con un emisor de positrones, como por ejemplo el Galio-68, capaz de ser detectado en un equipo PET (Tomografía por Emisión de Positrones) y el tratamiento de la enfermedad mediante la administración endovenosa de la misma molécula transportadora o ligando marcada con un emisor de radiación beta, como por ejemplo el Lutecio-177, capaz de producir radioterapia interna sobre las lesiones con sobreexpresión de dichos receptores. Ello, como hemos mencionado, condicionará distintas medidas de radioprotección en cada una de las fases del manejo de la enfermedad.

Principales procedimientos diagnósticos y terapéuticos. Implicación del tipo de radiofármaco

Técnicas con objetivo diagnóstico:

Para llevar a cabo un procedimiento diagnóstico, fundamentado en la adquisición de imágenes, se procura el empleo de radiofármacos con emisión pura de radiación gamma o de positrones, según si la imagen va a ser adquirida en una gammacámara convencional o en un equipo PET respectivamente.

El radioisótopo empleado por excelencia en los estudios de imagen gammagráfica convencional es el tecnecio-99m debido a su bajo costo, accesibilidad, relativo fácil marcaje a distintas moléculas, pero, sobre todo, debido a su relativamente baja energía, que ofrece una correcta calidad de imagen y baja radiación, y a su adecuado tiempo de vida media, de alrededor de 6 horas. Todo ello nos ofrece una gran versatilidad diagnóstica y bajo coste radiológico para el paciente.

Los estudios diagnósticos que implican el empleo del tecnecio-99m van desde estudios de lesiones óseas benignas o malignas, estudio de la patología tiroidea, renal, pulmonar, linfoide, hemorrágica o de tumores de distinta línea celular, simplemente modificando la molécula transportadora que da afinidad a cada uno de los tejidos.

Dada la baja energía del isótopo, de alrededor de 140KeV y a su relativamente corta vida media, de 6,03 horas, las medidas de radioprotección van dirigidas, por una parte, a evitar la contaminación durante su

manipulación por parte del personal técnico (proceso de marcaje del radiofármaco y cuantificación de la actividad) y de enfermería (proceso de administración), por tratarse de una fuente no encapsulada; y por otra parte medidas dirigidas a la protección del entorno social y familiar del paciente.

Unas correctas medidas de protección radiológica en el entorno de un Servicio de Medicina Nuclear implicarán el empleo de dosimetría personal y dosimetría de área. Además, para evitar la contaminación, incluirán, entre otras medidas, mantener las fuentes no encapsuladas en los lugares previstos y debidamente señalizados, cubrir las superficies de trabajo con papel absorbente y/o bandejas desechables, empleo de guantes desechables y, siempre que se disponga de ello, en cabinas de flujo o vitrinas de ventilación forzada, lavado cuidadoso de manos y finalmente un correcto control mediante monitor de contaminación de la superficie de trabajo, manos y ropas, al finalizar la manipulación; así como desecho y almacenamiento de los residuos en los contenedores e instalaciones previstas para tal fin.

De igual manera, se entrega por vía escrita y se explica a cada paciente las distintas medidas de radioprotección que deberán aplicar, así como el tiempo prudencial para llevarlas a cabo según el isótopo empleado, su energía y vida media. Como medida genérica se recomienda a todo paciente aumentar la micción mediante una mayor ingestión de líquidos (evitando bebidas gasificadas) mantenerse alejado de niños y mujeres embarazadas durante un período de tiempo que se indicará según la vida media del radionucleido empleado.

Como hemos mencionado previamente, el siguiente brazo diagnóstico y en muy rápido crecimiento, lo constituyen las exploraciones PET, hoy en día PET/TC (por la actual utilización de equipos híbridos), que fundamenta su aplicación en el empleo de radionucleidos emisores de positrones. Este tipo de imagen diagnóstica ofrece, en la mayor parte de los escenarios, una mayor resolución espacial y, en general, una mayor sensibilidad y especificidad que la imagen gammagráfica convencional. No obstante, esta nueva tecnología no carece de inconvenientes, como por ejemplo un mayor coste de producción del radioligando (no en todos los casos), ade-

cuaución de los blindajes estructurales y, en ahora un decreciente número de casos, la falta de disponibilidad de equipos PET, especialmente en regiones de menores recursos. De igual manera, la energía de los radionucleidos empleados es significativamente mayor (511KeV en el caso del Fluor-18, radioisótopo más empleado), lo que obliga a respetar de manera más estricta las normas de blindaje,

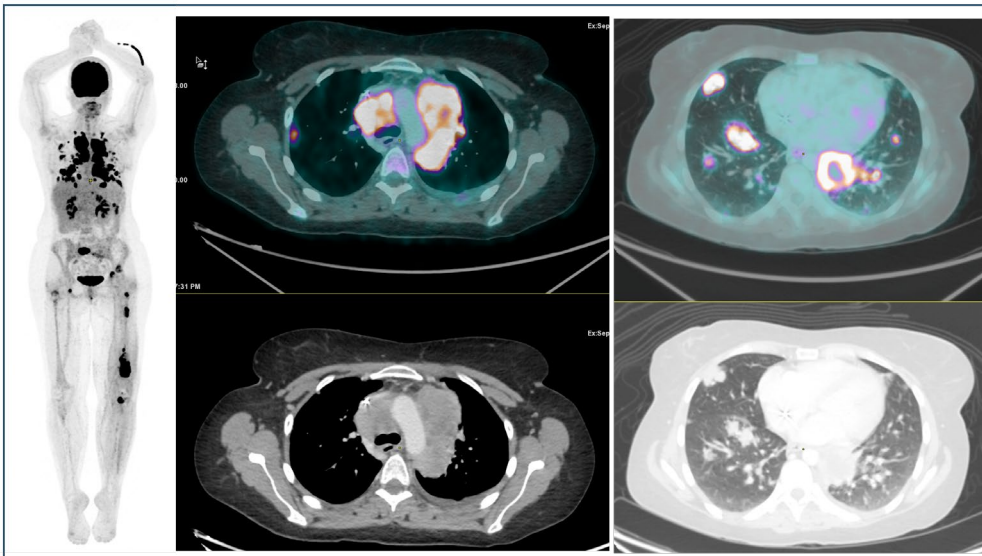


Imagen PET-TC

distancia y tiempo de exposición. El personal ocupacionalmente expuesto que trabaja en una Unidad PET debe contar con dosimetría personal de cuerpo completo y localizada para manos, y la instalación debe contar con dosimetría ambiental de los puntos más críticos o de más difícil protección. Además, los periodos de exposición del personal a las fuentes radiactivas, ya sean las monodosis o el propio paciente inyectado, deben ser especialmente cortos, no más de unos 2 o 3 minutos por paciente entre la administración del radiofármaco y su traslado y colocación en el tomógrafo.



Equipo diagnóstico PET-TC

Ciertas medidas de radioprotección para el personal expuesto deben ser empleadas para reducir la dosis absorbida como, por ejemplo, el empleo de sistemas de dispensación de dosis automáticos y correctamente blindados o la canalización previa de la vía venosa mediante catéteres para una rápida administración del radiofármaco.

A favor de su empleo seguro se encuentran unos periodos de semidesintegración significativamente más cortos, que van desde los 2,03 minutos del oxígeno-15 hasta los 109,7 minutos del fluor-18. Ello incluso compensa la desventaja de su alta energía, hasta el punto de que la dosis efectiva recibida por los pacientes en las exploraciones es sensiblemente inferior a pruebas convencionales de Medicina Nuclear con ^{99m}Tc . Además, favorece la restitución prácticamente inmediata de los hábitos de vida del paciente que acude al Servicio a realizarse dicha exploración. Sin embargo, el personal sanitario que lleva a cabo el procedimiento debe asegurar una correcta información sobre las indicaciones básicas a seguir, dirigidas a evitar o limitar el contacto durante unas horas después de terminada la exploración, en especial si se trata de grupos sensibles como niños o mujeres embarazadas.

Procedimientos terapéuticos: Principales tratamientos y perspectivas futuras. Implicaciones en la radioprotección.

Como ya se ha comentado, la especialidad de medicina nuclear está experimentando un significativo crecimiento especialmente en la rama terapéutica, debido a la aparición de nuevos radiofármacos, fundamentalmente emisores beta.

La terapia metabólica se basa en la administración de un radiofármaco vía oral, IV o intraarterial que producirá alteraciones importantes en el ADN de las células en las que se incorpore con la consecuente muerte celular.

Al tratarse de sustancias no encapsuladas, presentan riesgo de irradiación y, además, de contaminación tanto personal como del ambiente por lo que a la hora de su manipulación y administración debemos seguir estrictas medidas de radioprotección, entre las que se encuentran trabajar en superficies no porosas, el uso de doble guante desechable o en caso de necesitar transportarlo se realizará en contenedores adecuadamente blindados (4).

Entre los distintos tratamientos empleados en Medicina Nuclear, uno de los más utilizados y longevo es el que se lleva a cabo con ^{131}I . Sus inicios datan de la década de los años 50 y se indica para el tratamiento de la patología benigna de tiroides, hipertiroidismo, así como para complementar el tratamiento del carcinoma diferenciado de tiroides (CDT).

Se trata de un isótopo emisor beta y gamma de alta energía, por lo que se debe prestar especial atención a dicho tratamiento, ya que desde el punto de vista de radioprotección requiere unas medidas más estrictas. En caso de tratarse de una terapia de CDT, al indicar dosis altas de ^{131}I , requiere el ingreso de al menos 7 horas (si se trata de bajas dosis, 30 mCi) en habitaciones especiales para dicho tratamiento, con blindaje plomado de las mismas y gestión de residuos. Los pacientes se mantienen ingresados hasta que alcancen unos niveles de radiación inferiores a los 40 microSv/hr y una vez dados de alta por parte del servicio de radiofísica, deberá mantener unas medidas estrictas de radioprotección de manera personalizada según las condiciones de cada paciente y su ámbito familiar y laboral, evitando en los días siguientes el contacto con niños pequeños y mujeres embarazadas, durmiendo en una habitación individual y evitando permanecer largos periodos de tiempo con familiares en distancias inferiores a los 2 metros (5).

Otra terapia indicada en medicina nuclear se basa en la administración vía intraarterial de microesferas marcadas con ^{90}Y en tumores hepáticos, tanto primarios como metastásicos, siendo el hepatocarcinoma el tumor más frecuentemente tratado con esta técnica. El ^{90}Y es un emisor puramente beta por lo que las medidas de radioprotección resultan más simples, sin restricciones importantes, requiriendo únicamente un blindaje mixto de plomo y metacrilato en el que se introduce el vial cargado. La importancia en este caso consiste en evitar la contaminación a la hora de su manipulación y administración, cubriendo las superficies potencialmente contaminables con material absorbente y almacenándose al final del procedimiento.

En el caso de los tratamientos con ^{177}Lu -DOTA-Tyr3-octreotate indicado para tumores neuroendocrinos con sobreexpresión de receptores de somatostatina, irresecables o metastásicos, se realiza un ingreso de aproximadamente 7 horas, asociado a la administración intravenosa de una solución de aminoácidos que reducirá la radiación renal, órganos por lo que se produce la eliminación de dicho radiofármaco (6).

Por último, en el empleo de terapias con isótopos emisores alfa, ^{223}Ra actualmente el único autorizado, son importantes las medidas encaminadas a evitar la contaminación tanto en la manipulación del radiofármaco por parte del personal como a través de su eliminación vía digestiva y urinaria por parte de los pacientes.

Dentro de los procedimientos terapéuticos con radiofármacos, los empleados en la actualidad son los que se muestran en la tabla.

Radiofármaco	Actividad	Patología	Ingreso
¹³¹ I	5 – 20 mCi (185 – 740 MBq)	Hipertiroidismo	No
¹³¹ I	30 mCi (1110 MBq)	Carcinoma diferenciado de tiroides	7 horas
	100 – 200 mCi (3700 – 7400 MBq)		Si
¹⁷⁷ Lu – DOTA - Tyr3 -octreotate	200 mCi / ciclo (7400 MBq)	TNE diferenciados, no resecables o metastásicos	7 horas
¹⁷⁷ Lu – PSMA – 617	200 mCi / ciclo (7400 MBq)	Ca. próstata metastásico resistente a la castración	7 horas
⁹⁰ Y microesferas	Según volumen y plan terapéutico*	Tumores hepáticos primarios / Metástasis	No
²²³ Ra	55kBq /kg peso	Metástasis óseas blásticas de carcinoma de próstata	No

Implicaciones en la paciente embarazada

Una situación no infrecuente a la que se enfrenta el médico clínico que solicita una exploración con radiaciones ionizantes es el embarazo, situación en la que, por encima de muchas otras, debe valorarse de forma especialmente cuidadosa el riesgo de llevar a cabo la exploración respecto a su beneficio. Una dosis fetal que exceda 0.5 mSv requiere cuidadosa justificación y el estudio no debe resultar en una dosis absorbida mayor de 1-2 mSv. En cualquier caso, deberá considerarse siempre la posibilidad de realizar el proceso diagnóstico con exploraciones inocuas, carentes de radiación ionizante(3).

Suficiente bibliografía soporta el hecho de que las células que presentan una tasa de reproducción más acelerada, como las de un embrión, son más susceptibles a los daños por radiación. El periodo más radio-sensible del embrión es entre las 8 y las 15 semanas de gestación, por lo que, de ser factible, la exploración deberá ser diferida una etapa de gestación más avanzada.

La principal medida a llevar a cabo por parte del Servicio de Medicina Nuclear es la de reducir al mínimo la actividad administrada, asegurando una calidad de estudio adecuada, frecuentemente a expensas de un aumento del tiempo de exploración. En el caso particular de sospecha de enfermedad tromboembólica pulmonar, se reducirá tanto la actividad del radiofármaco como el número de partículas a administrar y se procurará el diagnóstico únicamente con el estudio perfusional.

La terapia con radionucleidos no está indicada durante el embarazo y debe ser evitada. La dosis de radiación al embrión/feto resultará en un aumento del riesgo de cáncer durante la infancia, pudiendo llevar a efectos determinísticos de la radiación. Se recomienda realizar un test de embarazo antes de administrar una dosis

terapéutica y se le debe advertir a la paciente la necesidad de evitar un embarazo hasta que la dosis sea menor de 1 mSv.

Actualmente, de la mano de los avances en el estudio y la aplicación de la dosimetría personalizada, todo Servicio de Dosimetría y Radioprotección, adjunto al Servicio de Medicina Nuclear, debe llevar a cabo un estudio dosimétrico previo y posterior a un procedimiento diagnóstico. Ello permitirá una toma de decisiones más segura, además de ofrecer el historial dosimétrico correspondiente en cada caso.

Generalidades de Legislación y obligatoriedad de la dosimetría personalizada en procedimientos de Medicina Nuclear

La peligrosidad de las radiaciones ionizantes hace necesario el establecimiento de medidas que garanticen la protección de los trabajadores expuestos y los pacientes contra los riesgos resultantes de la exposición a las mismas.

El fin último de la Protección Radiológica es proteger la salud de las personas de los efectos perniciosos de las radiaciones ionizantes. Para ello se diseñan sistemas de protección, consistentes en limitación de dosis. La exposición puede ser externa por fuentes emisoras de radiación o interna por fuentes incorporadas al organismo. La dosimetría interna tiene como objetivo la estimación de la dosis efectiva resultante de la incorporación al organismo de sustancias radiactivas.

En la dosimetría interna es necesario conocer el modo de incorporación y su comportamiento biocinético. Se han diseñado diferentes modelos para su cálculo: biocinéticos, compartimentales, método MIRD, etc. A partir de los modelos biocinéticos se derivan los modelos compartimentales, en los que se definen los órganos de interés y se clasifican en compartimentos. Son modelos que diferencian la dosimetría entre la lesión diana y el parénquima normal (modelo bicompartimental). Actualmente, se están implementando dosimetrías de modelo multicompartimental, más realistas y que tienen en cuenta que la distribución de la actividad dentro del tumor también es heterogénea, obteniéndose mapas de isodosis muy similares a los utilizados en radioterapia.

La estimación de dosis en Medicina Nuclear es diferente en exposiciones diagnósticas y terapéuticas.

Las exposiciones diagnósticas se han estimado mediante tablas estándar de dosis en órganos obtenidos de cálculos en maniquís. Se considera importante conocer el riesgo de efectos estocásticos, optimizando las actividades administradas para reducir los riesgos. De esta forma en los procedimientos diagnósticos la relación beneficio-riesgo es alta, por lo que no es tan importante la incertidumbre en la determinación de la dosis absorbida.

En cambio, en el ámbito terapéutico, el objetivo será estimar las dosis absorbidas por el tumor (diana) y por otros órganos dañados de forma colateral, que deben ser protegidos.

En general, los radiofármacos terapéuticos (radioisótopo + ligando) considerados legalmente como medicamentos, muestran una alta selectividad, o afinidad, por un determinado tipo celular o una localización concreta. Sin embargo, la especificidad nunca es absoluta, por lo que inevitablemente también causan efecto en las células sanas de los tejidos adyacentes al lugar depositado, así como en el árbol vascular durante

su fase de transporte (administración intravenosa/intraarterial) y en las vías de excreción.

El tratamiento implica riesgos probabilísticos/estocásticos y deterministas (efectos hematológicos, gastrointestinal, fallo renal, fibrosis pulmón). Por ellos nos interesa realizar dosimetría interna y conocer la Dosis absorbida en el tumor, la Dosis absorbida por órganos críticos (que suelen limitar la cantidad de radiofármaco a administrar) y la Dosis en órganos sensibles al riesgo estocástico.



Habitaciones plomadas de terapia radiometabólica

Si pretendemos obtener el máximo efecto en las células a tratar, y el mínimo posible en los tejidos adyacentes, necesitaremos un modelo predictivo que nos proporcione parámetros adicionales para definir cuál es la actividad radioactiva óptima para cada paciente. Además, en las nuevas terapias donde utilizamos fraccionamiento de dosis, las estimaciones dosimétricas tras cada una de ellas son imprescindibles para poder ajustar las dosis siguientes y ayudar a prevenir efectos nocivos en órganos críticos en próximas exposiciones (Por ejemplo con los tratamientos de ^{131}I para restos de carcinoma tiroideo, tratamientos de distintos lóbulos en radioembolización hepática con ^{90}Y , o los tratamientos de ^{177}Lu en los tumores neuroendocrinos que requieren re-tratamiento).

Con el desarrollo de innovaciones tecnológicas y la aparición de nuevos procedimientos terapéuticos la estimación de dosis tiende a ser cada vez más personalizada a priori o tras la administración terapéutica y ha conducido a un creciente interés en la comunidad de medicina nuclear.

Desde 1977 existen recomendaciones por parte de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), sobre radioprotección en medicina. En 1997 se indicó que las radiaciones ionizantes sólo deben ser empleadas si su utilización está justificada.

Clásicamente, se han administrado tratamientos, principalmente los basados en ^{131}I , con actividades decididas a partir de la experiencia del especialista que los prescribe o consejos de expertos. Los últimos

tratamientos oncológicos con ^{177}Lu -Lutathera® o ^{223}Ra -Xofigo® han tenido que demostrar su efectividad en ensayos clínicos, lo que implica una fase para la selección de actividad más efectiva y segura. Sin embargo, estas actividades siguen siendo fijas y vienen predeterminadas por la casa comercial.

En la práctica clínica los tratamientos de radioembolización hepática con ^{90}Y (Sirtex®/Terasphere®), implican la realización de una estimación dosimétrica personalizada para ajustar la actividad prescrita a las condiciones biológicas del paciente y para verificar la dosis impartida tras su administración.

Es, por tanto, recomendable la realización sistemática de dosimetría interna de cara a planificar el tratamiento, definiendo los órganos diana y la dosis a depositar en ellos, lo que mejora la capacidad para ajustar la actividad de radiofármaco a administrar a cada paciente y verificar la dosis efectivamente depositada, lo que nos permite predecir su efecto biológico y además, entre otras ventajas, nos facilita el ajuste de las actividades sucesivas a administrar cuando prescribimos un tratamiento fraccionado.

Además, para lograr ambos objetivos contamos con la ventaja de que las imágenes metabólicas tomográficas (SPECT y PET) permiten una fácil cuantificación de la distribución de casi todos los radiofármacos empleados en terapia.

Actualmente la legislación vigente nos ampara, dejando en manos de los especialistas de medicina nuclear la prescripción de los radiofármacos y estimando necesario la aplicación de dosimetría interna.

En el ámbito de la Unión Europea, el tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) establece que la Comunidad debe disponer de normas uniformes de protección sanitaria de los trabajadores y de la población en general contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. La directiva EURATOM 2013/59, de 6 de febrero obliga a llevar a cabo dosimetría interna en terapia con radiofármacos en el campo de MN.

A fin de dar cumplimiento a lo establecido en la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo se elaboró un nuevo real decreto: EL REAL DECRETO 601/2019 (8, 9). En cuanto a dosimetría interna en terapia con radiaciones ionizantes se expone que el tratamiento de medicina nuclear se planificará individualmente y se verificará convenientemente su realización. Además, la información relativa a la exposición del paciente debe recogerse en el informe dosimétrico. En el punto de Equipos, similar a lo descrito en EURATOM, expone que las unidades de terapia deberán implantar programas de evaluación de dosis impartida o verificación de actividad administrada (7)

La metodología ha avanzado mucho en los últimos 20 años, con aparición de guías de actualización en sociedades nacionales y europeas que definen procedimientos concretos incluyendo aspectos dosimétricos (11). Además, se han implementado nuevos Softwares comerciales que permiten la realización de procedimientos dosimétricos con previo contorneado de órganos automático por inteligencia artificial (10).

La dosimetría interna en terapia nuclear va a permitir un mejor manejo clínico de los pacientes y el registro sistemático de las dosis estimadas nos permitirá conocer el impacto real de nuestros tratamientos. A fecha actual, aún queda camino por recorrer y resolver algunas dificultades para poder implementar la dosimetría interna de forma sistemática en nuestro día a día, si bien el marco jurídico nos avala.

Bibliografía

1. Núñez M. Protección radiológica en Medicina Nuclear. Escuela Universitaria de Tecnología Médica. Udelar, Montevideo, Uruguay. Comité de Tecnólogos de ALASBIMN 2008.
2. Nuclear CdS. La protección radiológica en el medio sanitario / CSN2012. Available from: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/La+protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+en+el+medio+sanitario>
3. Susana Menéndez Muñoz AGS. Procedimientos de protección radiológica para la manipulación de fuentes no encapsuladas utilizadas en la instalación radiactiva central (irc) de la facultad de medicina de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). 2013.
4. Técnica U, Radiológica DP, Universitat D. Resumen Manual de Protección Radiológica de la Universidad de Barcelona. 2013; Available from: <http://www.ub.edu/spr/pdf/Resumen-ManualPR-generico-cast-dic2013.pdf>
5. I DETMCON. La Protección Radiológica Del Público Después. 2011;
6. FT Lymparza. Anexo I: Ficha técnica o resumen de las características del producto 1. Agencia Eur Medicam [Internet]. 2020;1–33. Available from: https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/kyntheum-epar-product-information_es.pdf
7. DIRECTIVA 2013/59/EURATOM DEL CONSEJO, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. OJ L 2014; 13:1-73.
8. Informe de la comisión SEFM-SEMNIM-SEPR sobre el Real Decreto 601/2019 de 18 de Octubre sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas (18-12- 2019) <https://semnim.es/informe-de-la-comision-sefm-semnim-sepr-sobre-el-rd-601-2019-de-18-de-octubre/>
9. Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas. BOE 2019; 262:120840-56.
10. MIM SurePlan™ MRT - MIM Software Inc. 04/06/2020. <https://www.mimsoftware.com/mim-sureplan-mrt>
11. Gear JI, Cox MG, Gustafsson J, Gleisner KS, Murray I, Glatting G, et al. EANM practical guidance on uncertainty analysis for molecular radiotherapy absorbed dose calculations Eur. J Nucl Med Mol Imaging. 2018;45: 2456–74.

Raul Ramos de la Plaza.

Licenciado en Medicina, ha desarrollado parte de su carrera profesional en el CSN.

Hablar de vigilancia médica de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es aparentemente sencillo. Se trataría de exponer un contenido de un examen a realizar en una consulta, al que se añaden los parámetros necesarios para asegurar existencia de lo que llamamos una “condición saludable” para que un trabajador desempeñe sus tareas.

Históricamente, en la medida que avanzan los conocimientos médicos y la tecnología empleada en los estudios complementarios, ha sido posible definir un enfoque estandarizado en esta vigilancia de la salud.

La vigilancia médica se realiza en el marco del conjunto de procedimientos propios integrados en la protección de las personas que por motivo laboral o profesional se exponen a radiaciones ionizantes. Dichos procedimientos garantizan que la exposición se atiene a lo establecido en las normas sobre justificación, optimización y limitación de dosis, e integran actuaciones que incluyen el diseño y preparación de las zonas de trabajo, que se complementan con los procedimientos propios de la protección radiológica.

Puede decirse, en suma, que la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es una vigilancia médica del trabajo, en la que se tiene en cuenta que existe también dicha exposición, además de todas las demás de relevancia en el medio laboral. La aplicación de los principios de la protección radiológica, que incluye la máxima limitación (según la actividad realizada o programada) de la exposición en dosis y tasas de dosis nos lleva a un escenario laboral en el que la vigilancia de la salud es, en la mayoría de los casos, una vigilancia medico-laboral de carácter general.

Este último factor implica que el procedimiento empleado en el seguimiento del estado de salud de los trabajadores profesionalmente expuestos y el contenido de las revisiones médicas periódicas, tendrá una gran similitud con aquellos propios de la medicina del trabajo.

Existen numerosas publicaciones de organismos de prestigio internacional. Cabe significar aquí como referencia técnica imprescindible, el documento Guía N° 5 de la Safety Report Series de la IAEA: HEALTH SURVEILLANCE OF PERSONS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING RADIATION: GUIDANCE FOR OCCUPATIONAL PHYSICIANS, publicado en 1998.

Históricamente se aplicaron a todos los trabajadores expuestos una vigilancia médica específica, pensando en la exposición laboral a radiaciones ionizantes. Por razones puramente técnicas, ha sido necesario aplicar dicho criterio solo a aquellos cuya exposición implica riesgos concretos (contaminación interna o externa, trabajos especialmente programados, tipo de exposición a radiación electromagnética). Desde la publicación del REAL DECRETO 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (26 de julio de 2001), la vigilancia sanitaria se aplica a los trabajadores de Categoría A.

Apuntes sobre la historia de vigilancia medica de los trabajadores expuestos

Los primeros protocolos de vigilancia médica específica de trabajadores expuestos en el ámbito civil se aplicaron en los trabajadores de la denominada “Fabrica de Uranio de Andujar”, gestionada por la Junta de energía Nuclear (posteriormente CIEMAT). En esta instalación se obtuvo concentrado de óxido de uranio entre 1959 y 1981. Se trataba de un entorno en el que la exposición introducía factores de riesgo específico, asociados a la manipulación de material en forma de polvo, que exigía pautas de precaución y protección según el puesto de trabajo.

Es obligado citar aquí al Dr Antonio Rebollar Rivas, responsable del Servicios médicos del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), antigua Junta de Energía Nuclear (JEN). Fue también durante muchos años Presidente del Tribunal Medico de Licencias de supervisores y Operadores. Inicialmente, su Sección de Medicina de Empresa, estaba integrada en la Sección de Higiene y Seguridad en el Trabajo de la JEN. Sus conocimientos y experiencia, junto con su Equipo, ha realizado el trabajo de seguimiento y control de la salud de trabajadores desde los años setenta, incluyendo el inicio y desarrollo de la instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad de El Cabril (Hornachuelos, Cordoba; existente desde 1975 (a cargo de ENRESA desde enero de 1986)

Es mención obligada también citar el trabajo del Centro de Nivel II existente en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid. Desde 1983, el Gregorio Marañón es el centro designado para prestar asistencia a las personas irradiadas o contaminadas por elementos radiactivos. Además, este hospital está incluido en los planes de emergencia nucleares y participa en los simulacros de accidentes radiológicos y nucleares que se realizan en España. Fue este Centro el que promovió en 1986 la investigación sobre dosimetría biológica en España. Como ejemplo reciente del fruto de su trabajo y continua colaboración con el CSN es la firma el on fecha 7 de abril de 2021, de el *Convenio en dosimetría biológica para la evaluación de personas expuestas a radiaciones ionizantes de forma accidental y en emergencias radiológicas y nucleares, por parte del Laboratorio de Dosimetría Biológica del Servicio de Oncología Radioterápica del HGUGM*. Detrás de años de trabajo en el seguimiento clínico y técnico de trabajadores expuestos, de coordinación, entre otras, con las instalaciones nucleares de potencia y la industria y, de manera específica sobre la dosimetría biológica, esta el Dr. Rafael Herranz Crespo, responsable de la Oncología Radioterápica del Hospital y del Centro de Nivel II.

Esta vigilancia médica de la salud de los trabajadores sería un ejemplo de la conjunción de la vigilancia de la salud de trabajadores cuyo puesto de trabajo implica exposición a distintos tipos de riesgo, además de aquellos específicamente debidos a la posibilidad de contaminación externa o interna.

Las pautas empleadas en la vigilancia medico laboral de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes son las propias de la vigilancia de la medicina del trabajo. En este sentido, cabe introducir la observación de aquellas actividades cuya naturaleza implique un riesgo laboral específico mismas que aquellas

Desde la creación del CSN (abril de 1980), este Organismo asumió la supervisión de la aplicación de criterios técnicos de seguridad y de salud en el funcionamiento de las instalaciones de nuestro país. Esta labor tuvo siempre como referentes la experiencia y el conocimiento en poder de la industria y, sin duda alguna, la ciencia y bagaje existente en la antigua JEN y su “sucesor” el CIEMAT.

Fruto del trabajo conjunto del CSN y los profesionales de las instalaciones y UNESA fue la elaboración de documentos de referencia, comisiones de trabajo dedicadas lograr la mejor vigilancia médica de cara a la garantía

de la salud de los trabajadores expuestos. En este contexto, se elaboraron documentos de uso específico y se logró el consenso necesario para la redacción de una Guía de Seguridad para la vigilancia médica: Guía 7.4.

Esta Guía de seguridad fue reemplazada como referente por la publicación del Ministerio de Sanidad del documento *PROTOCOLOS DE VIGILANCIA SANITARIA ESPECÍFICA: RADIACIONES IONIZANTES*, elaborado por la Comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud.

En suma, debemos considerar las siguientes ideas importantes:

- En primer lugar, determinar que debemos hacer para aportar a la vigilancia de salud de índole laboral, los contenidos específicos relacionados con los efectos de las radiaciones ionizantes. Dicho de otro modo, como añadir a dicha vigilancia genérica de la salud laboral, los elementos basados en la evidencia de los efectos biológicos conocidos por la exposición a las radiaciones ionizantes.
- En segundo lugar, siendo la medicina una disciplina científica, necesita diferenciar el “peso” relativo de cada uno de los agentes presentes en el entorno laboral. Es imprescindible intentar esa ponderación como discriminar en el estudio de la salud de los trabajadores, la influencia respectiva de estos factores.
- Es este un reto muy difícil de alcanzar. Consideremos que en nuestra actividad diaria existen multitud de factores (ambientales, dietéticos...) no cuantificados que influyen en nuestra salud. Téngase en cuenta que la contribución principal a la dosis de radiación del total de una vida es una circunstancia inevitable y asumida: los procedimientos médicos diagnósticos y terapéuticos. Es este un factor que en la ponderación global de todos los elementos que contribuyen a la dosis recibida a lo largo de nuestra vida.

Conclusiones

- a. La vigilancia médica de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes tiene como marco principal el conjunto de protocolos de la medicina del trabajo.
- b. Salvo las actividades previamente programadas, con la previsión de exposiciones especialmente vigiladas, la actividad de los trabajadores expuestos no implica un riesgo para su salud, mayor que el inherente a otras actividades laborales.
- c. Puede aplicarse un protocolo de evaluación médica mas especializado cuando la exposición tiene patrones distintos a la exposición externa a radiaciones ionizantes electromagnéticas. Sería el caso accidental de la exposición a determinadas partículas y la contaminación externa o interna.
- d. El estudio médico-biológico de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos y, en concreto, sobre el ser humano, parte de lo observado en exposiciones a unos niveles muy elevados (muy distintos a los propios del medio laboral, por ser incomparablemente altos (explosiones atómicas de Hiroshima y Nagasaki, personal militar en los ensayos de los programas de armas atómicas, accidentes..).
- e. Los criterios empleados en la protección radiológica de los trabajadores se fundamentan en extrapolar lo observado en dichos entornos, con la suposición de los efectos a entornos con dosis y tasas de dosis bajas.
- f. El riesgo asociado a la exposición de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes no justifica la introducción de parámetros especiales en el contenido de su examen medico periódico.

- g. El estudio medico biológico de la salud de los trabajadores es capaz de alcanzar un alto nivel de sofisticación.
- h. Es fundamental entender que los límites de dosis existentes para la exposición profesional a radiaciones ionizantes garantizan que la contribución del medio laboral a la dosis efectiva de los trabajadores es muy inferior a la que pueden recibir a lo largo de su vida por motivos médicos y por el conjunto de las partículas y radiación electromagnética de origen natural.

María Luisa Estupiñan Espinosa. *Jefa Vigilancia de la Salud. Central. Nuclear de Trillo. Guadalajara*

Los Centros de Asistencia Especializada o Centros de Atención a Irradiados y/o Contaminados, son un servicio sanitario de asistencia médica cualificada, para el tratamiento de lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes.

Dichos centros, surgieron de la necesidad preventiva de disponer en estas instalaciones, de un servicio sanitario específico, autorizado y competente, dotado de los medios humanos y técnicos necesarios, para el tratamiento de posibles trabajadores contaminados o irradiados.

Basándonos en la secuencia cronológica de la legislación española aplicable, tras la decisión tomada en nuestro país de utilizar la tecnología nuclear para la producción de energía eléctrica, pasamos a describir brevemente su historia.

Inicios

Revisando la legislación española desde mediados del siglo pasado, podemos observar el desarrollo, cada vez más importante, de la vigilancia sanitaria de los trabajadores profesionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes.

Es en la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear, donde se define que uno de los objetos de esa Ley es, *"Proteger vidas, salud y haciendas contra peligros derivados de la energía nuclear y de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes"* y en posteriores modificaciones de la misma, considera «Daños nucleares» como: *"La pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales y los daños y perjuicios materiales que se produzcan, como resultado directo o indirecto de las propiedades radiactivas o de su combinación con las propiedades tóxicas, explosivas u otras peligrosas de los combustibles nucleares o de los productos o desechos radiactivos que se encuentren en una instalación nuclear o de las sustancias nucleares que procedan, se originen o se envíen a ella"*.

En este apartado, vamos a recopilar y exponer de manera cronológica, la normativa y documentación técnica más significativa, que ha aplicado y aplica, a estos centros asistenciales especializados, los cuales, constituyen en nuestras instalaciones, una unidad integrada dentro de la vigilancia médica de la salud, de los trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones ionizantes. Esta unidad se ocupa específicamente, del tratamiento de posibles irradiados y/o contaminados, con el fin de preservar la seguridad y la salud de los trabajadores de las instalaciones que según define la Ley 25/1964, antes referenciada, clasifica en cuatro categorías:

- a) *"Centrales nucleares"; o sea, cualquier instalación fija para la producción de energía mediante un reactor nuclear.*
- b) *Reactores nucleares; o sea, cualquier estructura que contenga combustibles nucleares dispuestos de tal modo que dentro de ella pueda tener lugar un proceso auto mantenido de fisión nuclear, sin necesidad de una fuente adicional de neutrones.*

- c) Las fábricas que utilicen combustibles nucleares para producir sustancias nucleares y las fábricas en que se proceda al tratamiento de sustancias nucleares, incluidas las instalaciones de regeneración de combustibles nucleares irradiados.*
- d) Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte”.*

Desarrollo legislativo

- En 1978 se editó el R.D. 2177/1978, de 1 de septiembre, sobre registro, catalogación, inspección de centros, servicios y establecimientos sanitarios, que regulaba a todos los centros que por su finalidad y las técnicas que utilizaban tenían naturaleza sanitaria, incluyendo:
 - Su autorización administrativa de apertura o su modificación.
 - La adaptación de su estructura, organización y funcionamiento a lo establecido para cada clase o tipo de centro, servicio o establecimiento y su calificación, acreditación, catalogación y registro.
 - Además, establecía los requisitos técnicos y las condiciones mínimas de las instalaciones, equipos, estructura, organización y régimen de funcionamiento de los centros, servicios y establecimientos sanitarios.
- Es en 1979, cuando se edita la "Resolución de la Dirección General de Asistencia Sanitaria por la que se dictan normas para el desarrollo y aplicación de la Orden de 5 de diciembre de 1979, sobre organización de servicios de asistencia a lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes", dicha Orden, todavía en vigor, establece, de manera pormenorizada, " los requisitos técnicos y las condiciones mínimas" de estos servicios sanitarios, integrando su funcionamiento complementario, en la vigilancia sanitaria de la salud de los trabajadores de las instalaciones nucleares y radiactivas, de conformidad con lo previsto en el artículo 2º, d), del Real Decreto 2177/1978, de 1 de septiembre, antes mencionado y que clasifica a los servicios de asistencia por razón de su finalidad asistencial, en tres niveles, aunque nosotros nos vamos a ocupar del NIVEL 1, que está situado en las instalaciones nucleares y radiactivas, refiriendo los otros dos niveles a efectos únicamente ilustrativos del escalonamiento asistencial al que se puede llegar en caso necesario :

PRIMER NIVEL (LOCALIZADOS EN LAS CENTRALES NUCLEARES Y EN LAS INSTALACIONES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE)

Responsabilidades:

- a) Rescate y prestación de primeros auxilios convencionales.
- b) Detección de presencia de contaminación externa.
- c) Evaluación primaria del estado de irradiación.
- d) Tratamiento específico de la contaminación externa.
- e) Tratamiento de contaminaciones internas leves.
- f) Tratamiento «primario» (de urgencia), en contaminaciones internas, medianas y graves.
- g) Tratamiento de heridas leves contaminadas radiactivamente.

- h) Seguimiento analítico-clínico.
- i) Enlace con los servicios asistenciales de segundo y tercer nivel con quienes tenga coordinada la asistencia, tanto a efectos de traslado de los accidentados como a las relaciones que garanticen la adecuada eficacia funcional, incluida la rapidez de asistencia y continuidad del tratamiento.

Medios Técnicos:

- a) Misiones de rescate.
- b) Material de socorro.
- c) Medios de evacuación.
- d) Botiquines.
- e) Dosímetros y detector de radiactividad.

Medios Humanos:

Contarán con el personal sanitario formado, bajo la dirección y responsabilidad del médico del centro de trabajo (Servicio de Prevención), quien deberá conocer los principios fundamentales de esta conducta y tipo de asistencia, actualizándolo mediante periódicos y sucesivos adiestramientos.

En las instalaciones donde, los servicios asistenciales de primer nivel sean obligatorios por riesgo radiactivo, se podrán utilizar los recursos del Servicio de Prevención, detección y asistencial, existentes con fines sanitarios generales o aquellos más cualificados en el caso de las centrales nucleares, manteniendo siempre los requisitos mínimos requeridos".

SEGUNDO NIVEL (HOSPITALES DE REFERENCIA NACIONAL DEBIDAMENTE ACREDITADOS)

"El número y la ubicación de los servicios asistenciales de segundo nivel serán establecidos por la Dirección General de Asistencia Sanitaria de acuerdo con la estimación de necesidades. En todo caso se aprovecharán los recursos de infraestructura y asistenciales de la Administración, sus Órganos, Instituciones o Entidades gestoras, acrecentando de esta suerte su rentabilidad a través de las procedentes remodelaciones:

Las empresas que cuenten con centros de trabajo a los que sea de aplicación el Decreto 2869/1972, de 21 de julio, (derogado por el Real Decreto 1836/1999 de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas), podrán solicitar y crear, con independencia del obligatorio servicio asistencial de primer nivel, un servicio de segundo nivel y podrán convenir la creación de un servicio conjunto de segundo nivel cuando varios centros de trabajo, por razón de su proximidad o bien por otras causas, justifiquen dicho propósito".

TERCER NIVEL (INSTITUCIÓN INTERNACIONAL DE REFERENCIA)

"Las características de «alta especialización» propias de este nivel han de limitar, racionalmente, su número, toda vez que el tipo de asistencia que debe prestar no viene determinado por el factor «distancia», sino por los de «cuantificación» y «cualificación» de los recursos. Su rentabilidad será potenciada, en la medida posible, con actividades formativas, de asesoramiento científico, de análisis radio toxicológico, medidas de radiactividad y estudios cromosómicos, dosimetría sanitaria centralizada o cualquier otra opción que repercuta en el contexto general de las posibilidades sanitarias".

- En la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear, se establece en su artículo 2, apartado i), dentro de las funciones del C.S.N. la de *"Colaborar con las autoridades competentes en relación con la vigilancia sanitaria de los trabajadores profesionalmente expuestos y en la atención médica de personas potencialmente afectadas por las radiaciones ionizantes"*.
- En el *"Real Decreto 2519/1982, de 12 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, que deroga la Orden de protección contra Radiaciones de 22 de diciembre de 1959 y la Orden de protección contra Radiaciones de 10 de julio de 1962, se establece en su Art. 12."* Cuando en caso de accidente y excepcionalmente se presenten situaciones que den lugar a exposiciones que impliquen la recepción de dosis superiores a los límites de dosis fijados para condiciones normales de trabajo estas exposiciones tendrán consideración de exposiciones excepcionales.

Si las dosis recibidas como resultado de estas exposiciones excepcionales fueran superiores al doble de los límites anuales de dosis correspondientes, el caso será puesto en conocimiento de: Los servicios médicos quienes, a la vista de la dosis recibida, historial dosimétrico., edad del trabajador y resultado del reconocimiento médico adicional adoptará las medidas inmediatas oportunas y propondrán las medidas pertinentes en relación con la continuidad del trabajador en su puesto de trabajo y a su posible atención médica".

- El Real Decreto 1753/1987, de 25 de noviembre, por el que se modifica parcialmente el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, aprobado por el Real Decreto 2519/1982, de 12 de agosto, introduce una novedad respecto a la legislación anterior, que incluye en su Art. 10 *"Las mujeres en período de lactancia no desempeñarán trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación."*
- El Real Decreto 53/1992, de 24 de enero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes que deroga al Real Decreto 2519/1982, de 12 de agosto y al Real Decreto 1753/1987, de 25 de noviembre, dice en su Art.9. *"Se evaluarán las dosis recibidas como consecuencia de exposiciones excepcionales, tanto se trate de exposiciones totales como parciales. Si las dosis recibidas como resultado de estas exposiciones excepcionales fueran superiores a los límites anuales de dosis correspondientes, el caso será puesto inmediatamente en conocimiento de: El servicio médico"*.

Y en el Art. 40 del mismo decreto, que se relaciona parcialmente a continuación define que:

"La vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos será realizada por un servicio médico especializado, propio o contratado, con capacidad reconocida oficialmente a estos efectos por el órgano de la Comunidad Autónoma competente en materia de sanidad, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, sin perjuicio de lo dispuesto en las normas reguladoras sobre servicios de Medicina de Empresa y Enfermedades Profesionales. De las autorizaciones concedidas al amparo de este párrafo se dará comunicación al Consejo de Seguridad Nuclear.

Los servicios médicos a la vista del historial dosimétrico, edad y estado de salud del trabajador, adoptarán las medidas que estimen oportunas. En caso de superación de los límites de dosis correspondientes, realizarán una revisión excepcional de la persona afectada, fijarán los criterios de exposición posterior y establecerán su posible atención médica, que incluirá, en caso necesario, su tratamiento en los Centros de asistencia a que se refiere el Art. 52 de este Reglamento, el cual además refiere que "La atención médica de los irradiados o contaminados corresponderá a los Centros de Asistencia que a tal efecto sean autorizados, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, por el órgano de la Comunidad Autónoma competente en materia de sanidad.

El Ministerio de Sanidad y Consumo mantendrá un catálogo y registro general de estos Centros a los efectos previstos en los artículos 15.2 y 40.9 de la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad", la cual dice en su Art.40: La Administración del Estado, sin menoscabo de las competencias de las Comunidades Autónomas, desarrollará las siguientes actuaciones:

El Catálogo y Registro General de centros, servicios y establecimientos sanitarios que recogerán las decisiones, comunicaciones y autorizaciones de las Comunidades Autónomas, de acuerdo con sus competencias".

- *En el Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, en vigor actualmente, se amplía y mejora la protección a la maternidad y la vigilancia sanitaria de los trabajadores profesionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes, que no es objeto de su estudio de este apartado.*

También hace referencia en el Art. 10. Protección especial durante el embarazo y la lactancia:

"1. Tan pronto como una 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 al 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.

2. 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 tales supuestos deberá asegurarse una vigilancia adecuada de la posible contaminación radiactiva de su organismo"

Y en su Art. 12: Exposición especialmente autorizada.

"b) No se autorizará la participación en exposiciones especialmente autorizadas a:

1.º Las mujeres embarazadas y aquellas que en período de lactancia puedan sufrir una contaminación corporal.

En el Art. 39. *Vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos*, introduce la mención a la aplicación de los principios generales de Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan, para la vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos.

Y en el Art.46 *Medidas adicionales*.

1. Además de la vigilancia sanitaria, 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, como otros exámenes, medidas de descontaminación o tratamiento terapéutico de urgencia y, en caso necesario, atención y tratamiento médico en los Servicios de asistencia a los lesionados y contaminados por isótopos radiactivos y radiaciones ionizantes que a tal efecto sean autorizados por la autoridad sanitaria en las respectivas Comunidades Autónomas. Las autorizaciones concedidas al amparo de este párrafo se comunicarán al Consejo de Seguridad Nuclear y al Ministerio de Sanidad y Consumo.

2. El Ministerio de Sanidad y Consumo mantendrá un catálogo y registro general de estos Centros a los efectos previstos en los artículos 15.2 y 40.9 de la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad.

Normas UNE de aplicación y guías del Consejo de Seguridad Nuclear

NORMA – UNE 73703:2023, *“Material mínimo de un centro asistencial de primer nivel para tratamiento de lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes”*.

En esta norma se relaciona de manera exhaustiva, el listado del material mínimo necesario que debe componer la dotación de un NIVEL 1, en vestuario y ropa de protección, productos y equipos de descontaminación, instrumental médico y material de curas, así como, material vario.

NORMA – UNE: 73701: Descontaminación externa de personas.

Aquí se definen una serie de conceptos que tienen que ver con la contaminación, bien sea externa o interna, y la irradiación, las reglas básicas de la descontaminación externa, los principios generales del tratamiento de la contaminación externa sin lesión asociada de la piel, con heridas, o con quemaduras.

NORMA – UNE: 73705: *Descontaminación interna de personas*.

Este documento describe, además de una serie de conceptos referidos a la irradiación, las reglas básicas a la hora de realizar una descontaminación interna radiactiva, las vías posibles de contaminación interna (respiratoria, digestiva, heridas), los niveles de intervención y, por último, los principios generales del tratamiento en sí mismo.

NORMA – UNE 73704: *Profilaxis radiológica con yoduro potásico en trabajadores de la Industria Nuclear*.

Aquí se definen los criterios generales para establecer las situaciones de emergencia que requieran el establecimiento de medidas profilácticas con Yoduro Potásico derivadas de la descarga al ambiente de yodo radiactivo que pueda ser inhalado o digerido, el control de la efectividad de la profilaxis y la vigilancia de los efectos radiológicos.

NORMA - UNE 73702: *Recogida de muestras biológicas en caso de contaminación interna y/o irradiación externa*.

En esta norma se describen los principios generales para la recogida de muestras biológicas en un Centro Asistencial de primer nivel, ante una situación de sospecha de contaminación interna y/o irradiación externa, en la cual, se hayan superado los límites de dosis establecidos por la legislación vigente y que permitan realizar los estudios biológicos necesarios para valorar el daño producido y la evolución del tratamiento establecido.

- Guía de Seguridad del Consejo de Seguridad Nuclear 7.5 *Actuaciones a seguir en el caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico*.

En esta Guía se recomiendan aquellas actividades, que se deben realizar ante un accidente radiológico, que según la OIEA podemos definir como: “todo suceso involuntario, incluido un error de operación, fallo de equipo u otro contratiempo, cuyas consecuencias reales o potenciales no puedan ignorarse o desconocerse desde el punto de vista de la protección o seguridad, y que pudiera conducir a una exposición potencial o a condiciones de exposición anormales”. Las recomendaciones van dirigidas a la toma de acciones a realizar en el lugar del suceso, al traslado de la persona o personas afectadas y a la recogida de datos, con el fin de minimizar las consecuencias del accidente.

- *Protocolo de Vigilancia Sanitaria específica radiaciones ionizantes de la Comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud*, cuyo objeto es prevenir y limitar las posibles alteraciones

producidas por la exposición a radiaciones ionizantes, dice en su punto 4.4 *Criterios de valoración en caso de superación de los límites de dosis*, que serán los Servicios de Prevención quienes determinarán los criterios de exposición posterior, después de haber sufrido una sobreexposición y establecerán la atención médica necesaria, de acuerdo con el art. 46 del Real Decreto 783/ de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, ya expuesto anteriormente.

Conclusiones

En este breve desarrollo, se ha puesto de manifiesto, que nuestro país ha ido creando, implantando y desarrollando a lo largo de su historia nuclear, las herramientas legislativas y los medios técnicos y humanos que se han requerido, para llevar a cabo, la vigilancia sanitaria y el tratamiento médico especializado de aquellos trabajadores que, por su actividad profesional, están expuestos a riesgo de irradiación y/o contaminación.

Por lo tanto, podemos concluir que a lo largo del tiempo, los NIVELES 1 (Centros de Atención a Irradiados y/o Contaminados), han cumplido en todo momento, con la finalidad para la que fueron creados: la asistencia y el tratamiento de los posibles contaminados y/o irradiados que pudieran surgir en la actividad de las instalaciones nucleares y radiactivas, así como, ante posibles accidentes radiológicos, manteniendo su acreditación, la formación de su personal sanitario y sus instalaciones, incluidos los medios técnicos y humanos que los conforman, en condiciones óptimas, a pesar de la ausencia de sucesos radiológicos de entidad, como se ha demostrado a lo largo de la historia nuclear española.

Actualmente en el sector nuclear están en servicio los siguientes Centros de Atención a Irradiados y/o Contaminados:

- CENTRAL NUCLEAR DE TRILLO (GUADALAJARA)
- CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ (CÁCERES)
- CENTRAL NUCLEAR STA. MARÍA DE GAROÑA (BURGOS)
- CENTRAL NUCLEAR ASCÓ (TARRAGONA)
- CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLÓS II (TARRAGONA)
- FÁBRICA DE JUZBADO (SALAMANCA)
- EL CABRIL (CÓRDOBA)

Bibliografía española histórica

- (1) Orden de Protección contra Radiaciones de veintidós de diciembre de mil novecientos cincuenta y nueve y de diez de julio de mil novecientos sesenta y dos.
- (2) Orden de Protección contra Radiaciones de veintidós de diez de julio de mil novecientos sesenta y dos.
- (3) LEY 25/1964, de 29 de abril, Ley reguladora de la energía nuclear.
- (4) Decreto 2177/1967, de 22 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Cobertura de Riesgos Nucleares.
- (5) DECRETO 2869/1972 de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y

Radiactivas, derogado por el Real Decreto 1836/1999. Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas

- (6) REAL DECRETO 2177/1978, de 1 de septiembre, sobre registro, catalogación, inspección de centros, servicios y establecimientos sanitarios.
- (7) Orden de 5 de diciembre de 1979 sobre organización de servicios de asistencia a lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes.
- (8) RESOLUCION de la Dirección General de Asistencia Sanitaria por la que se dictan normas para el desarrollo II aplicación de la Orden de 5 de diciembre de 1979 sobre organización de servicios de asistencia a lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizante.
- (9) LEY 15/1980 de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.
- (10) REAL DECRETO 2519/1982 de 12 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, modificado por el REAL DECRETO 1753/1987 de 25 de noviembre, por el que se modifica parcialmente el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, aprobado por Real Decreto 2519/1982, de 12 de agosto.
- (11) Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan.
- (12) Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad.
- (13) REAL DECRETO 53/1992 de 24 de enero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.
- (14) Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
- (15) Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
- (16) Real Decreto 1277/2003, de 10 de octubre, por el que se establecen las bases generales sobre autorización de centros, servicios y establecimientos sanitarios Consejo de Seguridad Nuclear.
- (17) Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear.
- (18) Ley 33/2007, de 7 de noviembre, de reforma de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.
- (19) Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes.
- (20) Normas UNE (73703:2023 "Material mínimo de un centro asistencial de primer nivel para tratamiento de lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes").
- (21) Guía del Consejo de Seguridad Nuclear 7.4 del Consejo de Seguridad Nuclear (derogada).
- (22) Guía del Consejo de Seguridad Nuclear 7.5 (Rev. 1) Actuaciones a seguir en el caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico.
- (23) Protocolo de Vigilancia Sanitaria específica radiaciones ionizantes de la Comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud.

Jose María Escudero Bayón. *Jefe Servicio Médico ENUSA Industrias Avanzadas S.A. Fábrica de Combustible Nuclear. Juzbado. Salamanca*

Sus inicios

En 1951 se fundó la Junta de Energía Nuclear, del que dependía todo lo relativo a la energía nuclear en nuestro País. El objetivo de la creación de la misma fue el de aglutinar el ejercicio de diversas funciones relacionadas con la energía nuclear.

Coincidiendo con la fundación de la JEN, se inicia la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones.

Se tiene notificación de los primeros reconocimientos médicos realizados en la década de los 50-60 y sus archivos, realizados, según figuraba en el anagrama por la JEN (Servicios Sanitarios), con analíticas con anagramas de JEN (Sección de Protección de Personal) Laboratorio Médico.

En sus comienzos, el objetivo, en relación con la vigilancia médica derivada de la exposición a las radiaciones ionizantes, estaba dirigida fundamentalmente a la derivada de la prospección y explotación de yacimientos de materias radiactivas.

La vigilancia de la salud de estos trabajadores estaba orientada, con los conocimientos iniciales que existían en aquella época, tanto a los riesgos derivados de la exposición a riesgo pulvígeno derivado de la minería existente como al propio de las radiaciones ionizantes, con sus limitaciones.

Dichos reconocimientos constaban de una exploración física básica y constantes vitales. Igualmente, tenían una analítica básica donde figuraba el hemograma y tres parámetros bioquímicos (Glucosa, Nitrógeno ureico y colesterol) conjuntamente con una analítica básica de orina.

Figuraban, de modo opcional, parámetros como Ésteres del colesterol, Mac Lagan, Hanger, Wasserman Kahn, etc.

Se puede observar a la finalización del reconocimiento la realización de la prueba de tuberculina conjuntamente con la aptitud médica para realizar el trabajo.

En el año 1960 se inaugura la Fábrica de Uranio de Andújar "General Hernández Vidal" que fue clasificada como Instalación Radioactiva de 1ª categoría. Su función sería la producción de concentrado de uranio para que tras su procesamiento pudiese ser utilizado en las Centrales Nucleares (inicialmente la de José Zorita en Guadalajara).

Aparece así la primera exposición laboral al uranio y sus compuestos lo que exigía controles tanto radiológicos como médicos a los trabajadores expuestos a sus posibles efectos.

Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo

Esta vigilancia médica, a trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, encuentra su primera referencia legal en la Orden del 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En su artículo 40 figura la exposición a "Radiaciones Peligrosas" y entre ellas en su apartado 3, las radiaciones ionizantes.

Como curiosidad de este artículo se prohibía realizar trabajos con exposición a radiaciones ionizantes, que supusieran dosis superiores a 1,5 rem/s al año a:

- Menores de 18 años
- Mujeres de 21 años
- A las casadas en edad de procrear, y
- A las solteras tres meses antes de contraer matrimonio.

Según esta OSH, ninguna persona podía efectuar trabajos con peligro de irradiación, sin un previo reconocimiento médico con examen radiológico y práctica de los análisis clínicos oportunos. (Se hablaba únicamente de peligro de irradiación sin tener en cuenta la posible contaminación interna por radioisótopos.)

Estos reconocimientos médicos tenían una periodicidad semestral o cuando existiese la sospecha de una posible irradiación según recoge el texto.

Recogía la Ordenanza que cuando con ocasión de los reconocimientos médicos, al trabajador se le descubra la absorción en cualquiera de sus órganos de la dosis máxima permisible de irradiación, se suspenderá temporalmente su trabajo y se trasladará a otra ocupación exenta de riesgo hasta que el Servicio Médico de Empresa donde exista, u otro facultativo competente, autorice su reincorporación.

En aquellos momentos no existían criterios definidos que orientaran hacia una vigilancia de la salud específica de los riesgos, en este caso las radiaciones ionizantes, a los que estaban expuestos los trabajadores.

Las pruebas eran inespecíficas y tenían especial valor los criterios de exclusión previos a la incorporación.

Tampoco estaban definidas aquellas alteraciones o patologías, que de hallarse en el curso de los reconocimientos médicos, pudiesen indicar una contraindicación formal para trabajar con exposición a radiaciones ionizantes.

Real decreto enfermedades profesionales

El primer documento que encontramos que pueda significar una inicial unificación de criterios aparece con la aprobación del RD 1995/1978 del 12 de mayo por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el Sistema de la Seguridad Social.

En el apartado, de dicho RD, referido a las enfermedades causadas por las radiaciones ionizantes, se hace mención a las normas que deben seguirse para el reconocimiento previo al ingreso en labores con riesgo de radiaciones ionizantes. Se menciona por primera vez la necesidad de realizar, al margen de las pruebas que el médico considere oportuno, un estudio del hemograma.

Se menciona ya la periodicidad que deben tener estos reconocimientos médicos que será anual. No obstante, esta periodicidad pasará a ser semestral cuando el riesgo de exposición a radiación ionizante sea próximo al máximo admisible que en aquel momento era de 0,1 rem por semana, 3 rem por trimestre o 5 rem por año.

La periodicidad de los reconocimientos sería mensual durante un año y semestral durante dos años consecutivos si en alguna jornada de trabajo, el trabajador recibiese una dosis igual o superior a 1 rem. En caso de superar los 3 rem en una jornada, el médico decidirá sobre la continuidad o cese en el trabajo definiendo la periodicidad de los reconocimientos.

Igualmente, se definen en este Real Decreto los criterios de aptitud para poder trabajar con riesgo de radiaciones ionizantes, siendo declarados como “No Aptos”:

- Menores de 18 años
- Mujeres gestantes o lactantes
- Nefrópatas
- Hepatópatas
- Los que padezcan neuropatías centrales
- Los que padezcan neumopatías, especialmente la tuberculosis
- Los que padezcan dermatosis crónicas

Se definen también criterios de “No Aptitud” basados en parámetros hematológicos referidos a leucocitos totales, neutrófilos totales, linfocitos, hematíes y reticulocitos (no se tienen en cuenta las plaquetas).

Consejo de Seguridad Nuclear. Guía 7.4

Es ya en el año 1986 es cuando el Consejo de Seguridad Nuclear emite la Guía 7.4 donde se establecen las bases para la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes.

Paralelamente comienzan a autorizarse a los denominados “Servicios Médicos Especializados” para realizar la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos.

Dichos Servicios Médicos tenían que estar autorizados por el Ministerio de Sanidad y Consumo con informe previo favorable por parte del Consejo de Seguridad Nuclear tras ver que se cumplían los criterios de recursos técnicos y humanos para llevar a cabo dicha vigilancia.

Son los Servicios Médicos de las instalaciones nucleares del país, tanto los de Centrales Nucleares como los del Ciclo del Combustible Nuclear (ENUSA y ENRESA) así como el Servicio de Radiopatología del Hospital Gregorio Marañón de Madrid como centro de referencia en España, los primeros en estar autorizados para realizar dicha vigilancia médica. Con posterioridad fueron siendo autorizados servicios tanto de hospitales como servicios médicos privados que darían cobertura a los trabajadores que tendrán que acceder a instalaciones nucleares para desarrollar su trabajo.

Siguiendo el camino trazado muchos años antes a través de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de la Industria Eléctrica (AMYST), los Servicios Médicos de las Instalaciones Nucleares constituyen, en el seno de UNESA, el Grupo Médico Nuclear, foro de información, intercambio de experiencias y de discusión

que a través de reuniones periódicas ponen en común todos aquellos aspectos relacionados con la vigilancia sanitaria de los trabajadores profesionalmente expuestos. Este Grupo se mantiene activo en nuestros días.

La Guía 7.4 del CSN (no de obligado cumplimiento) marca las directrices a seguir y unifica criterios con el fin de homogeneizar el contenido de los reconocimientos médicos orientando también sobre los criterios de aptitud médica según lo observado en las pruebas médicas.

La Guía 7.4 era aplicable a los Servicios Médicos especializados y autorizados por el Ministerio de Sanidad y Consumo para efectuar la vigilancia médica de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes.

La Guía constaba de cuatro partes bien diferenciadas. La primera establecía las áreas objeto de vigilancia que serán definidas entre el personal médico encargado de la vigilancia y el Servicio de Protección Radiológica. La segunda parte definía el contenido de las pruebas médicas y los criterios de aptitud. La tercera parte hacía alusión a los exámenes de aptitud para los nuevos ingresos y la cuarta parte hablaba sobre el contenido mínimo que debía tener la ficha médica que se abriera al trabajador profesionalmente expuesto

La Guía 7.4 tiene dos revisiones posteriores en 1994 y en 1998. La primera revisión incluye como aspecto novedoso en la vigilancia de la salud la necesidad de realizar determinaciones de alcohol y sustancias estupefacientes en los trabajadores con licencia de supervisor u operador. Estos controles serían aleatorios y se realizarían cuando el Servicio Médico determinase y no necesariamente con ocasión del reconocimiento médico.

Ley de Prevención de Riesgos Laborales y reglamento de Protección Sanitaria contra las radiaciones ionizantes

En 1995 se promulga la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Los antiguos y denominados Servicios Médicos de Empresa se integran en los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales que son los encargados, a través de su Área de Medicina del Trabajo, de realizar la vigilancia médica de los trabajadores según los riesgos (incluidas las radiaciones ionizantes) a los que están expuestos.

A partir de entonces, cualquier Servicio de Prevención, sea propio de la empresa o contratado por la misma como servicio de prevención ajeno puede realizar la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos.

El Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, en el apartado de vigilancia sanitaria de los trabajadores profesionalmente expuestos dice que la misma se basará en los principios generales de Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan.

El RPSRI fija la necesidad de realizar un reconocimiento previo o de ingreso antes de la exposición para ver que no existe ninguna incompatibilidad. Igualmente fija la obligatoriedad de los reconocimientos con una periodicidad, al menos, anual o menor a criterio del Médico del Trabajo encargado de la vigilancia.

Fija una clasificación del trabajador en función de los resultados obtenidos en APTOS, NO APTOS o APTOS EN DETERMINADAS CONDICIONES.

Finalmente, y en el apartado de Vigilancia sanitaria, habla de Vigilancia sanitaria especial en caso de superación

o sospecha fundada de superación de alguno de los límites de dosis establecidos en el artículo 9, se deberá realizar una vigilancia sanitaria especial. Las condiciones posteriores de exposición se someterán a lo establecido por el Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

En cualquier caso ya se habla o menciona a los Servicios de Prevención encargados de la vigilancia médica y no de los Servicios Médicos Especializados comentados con anterioridad.

Protocolo de Vigilancia Sanitaria específica para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes

Esta vigilancia médica se sigue realizando, siguiendo las directrices de la Guía 7.4 del CSN y sus posteriores revisiones. El Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud aprueba el «Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para los trabajadores expuestos a Radiaciones Ionizantes» en la reunión de su Comisión Delegada de 11 de noviembre de 2003 que define las nuevas directrices a seguir en la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuesto y que sigue vigente en nuestros días. Ha servido para unificar criterios de los reconocimientos.

El nuevo protocolo contó con la colaboración, en su elaboración, de profesionales de todos los ámbitos laborales y como coautores del mismo figuran representantes del Grupo Médico Nuclear a través de UNESA.

El protocolo guarda semejanza con lo que recogía la Guía 7.4 del CSN y añade otros conceptos más ligados a promoción de la salud con ocasión de la realización de un reconocimiento médico.

Actualmente esta Guía 7.4, figura como Anulada en la Relación de Guías del CSN

Se adapta de esta forma la vigilancia sanitaria a lo estipulado en el Artículo 22 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales referente a la vigilancia de la salud. “El empresario garantizará a los trabajadores a su servicio la vigilancia periódica de su estado de **salud en función de los riesgos inherentes al trabajo.**”

Conclusión

A lo largo de todos estos años con la experiencia adquirida, los cambios normativos, ,etc. se ha ido adaptando la vigilancia sanitaria a circunstancias actuales y a riesgos concretos, intentando, en la medida de lo posible, la no generalización de dicha vigilancia ya que entendemos que el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes puede variar dependiendo del tipo de radiación, del compuesto radioactivo, de las circunstancias de la exposición, del control que se tenga en el medio ambiente de trabajo (la radiación es un riesgo higiénico de tipo físico) cuya magnitud está perfectamente controlada.

Por otro lado, nos encontramos ante un riesgo, que utilizando conceptos de Prevención y recogidos en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, está suficientemente controlado como consecuencia del control normativo y operacional que existe sobre las radiaciones ionizantes en los ambientes de trabajo.

No obstante, queda un largo camino por recorrer. El amplio bagaje de información del que disponemos en los Servicios de Medicina del Trabajo, tanto de tipo clínico recogido en los historiales médicos, como de tipo dosimétrico referidos a los trabajadores expuestos a radiaciones a lo largo de todos estos años, nos debe

servir como fuente para seguir investigando sobre los posibles efectos de las radiaciones ionizantes (referido fundamentalmente a bajas dosis de radiación) sobre los trabajadores profesionalmente expuestos. Nos debe orientar igualmente hacia la realización de una vigilancia de la salud más específica en relación con el tipo de exploraciones y pruebas complementarias que se realicen, que nos puedan indicar de una forma más precisa los posibles efectos sobre la salud de las radiaciones ionizantes.

Alfredo Brun Jaén. *Jefe Servicio Médico. El Cabril. ENRESA. Córdoba*

Una Referencia Histórica

Las primeras normas voluntarias de protección frente a los rayos X se adoptaron en Alemania en 1913 y en Gran Bretaña en 1915. Tras la Primera Guerra Mundial, la creciente preocupación sobre los efectos lesivos de las radiaciones ionizantes llevó al establecimiento de comités nacionales sobre el tema, si bien hasta finales de los años 1920 no se dictaron recomendaciones de protección aceptadas internacionalmente.

Al margen de las comunidades de expertos, las primeras alarmas sanitarias surgieron en la década de 1920 en sectores industriales como el de las pinturas de esferas de relojes, que habían experimentado un importante crecimiento durante la guerra. El uso extendido de las pinturas de radio, por sus ventajas para favorecer la visualización de los mensajes gracias a su efecto fosforescente, provocó la aparición de lesiones entre los trabajadores de este sector, mayoritariamente mujeres. Las trabajadoras inhalaban el radio durante la aplicación de las pinturas o bien lo deglutían al humedecer los pinceles en sus labios.

A pesar de las evidencias clínicas y epidemiológicas, el reconocimiento del carácter perjudicial de las pinturas con radio, la adopción de medidas de limitación de la exposición al riesgo y la obligación de indemnizar a las víctimas no se produjeron hasta mediados de los años 1930.

Es importante señalar que los organismos e instituciones que lideraron la protección radiológica con anterioridad a la Segunda Guerra Mundial fueron organizaciones profesionales científicas, no gubernamentales. Así, durante la celebración en 1929 del Segundo Congreso Internacional de Radiología se creó el International X-Ray and Radium Protection Committee (a partir de ahora ICRP) que en 1950 pasó a denominarse International Committee on Radiological Protection (a partir de ahora ICRP). La labor fundamental del ICRP consistía en la realización de recomendaciones sobre medidas de radio-protección y la protección radiológica en la industria nuclear española durante el franquismo, 1939-1975 de estimular la concienciación al respecto.

No obstante, dada su falta de capacidad ejecutiva, sus recomendaciones no fueron fácilmente asumidas ni puestas en práctica por los órganos administrativos con competencias sobre el tema.

En 1934, el ICRP recomendó un valor límite de exposición denominado tolerance dose, fijado en 0,2 roentgens al día, por debajo del cual se estimaba que la probabilidad de daños a la salud era nula. Las recomendaciones estaban principalmente dirigidas a personal sanitario y técnico, los efectos valorados eran fundamentalmente los producidos a corto y medio plazo sin apenas consideración del riesgo a largo plazo. Por su parte, el United States Advisory Committee on X-Ray and Radium Protection fijó, en 1941, las primeras tolerance doses para las principales fuentes de irradiación internas empleadas en la época (radio y gas radón). De hecho, dichas recomendaciones fueron la base para los programas de protección radiológica aplicados al personal involucrado en el Proyecto Manhattan.

La legislación española de la Segunda República (1931-1936) contempló la consideración como enfermedad profesional de las “alteraciones patológicas producidas por el radio, rayos X y otras sustancias radiactivas”

(España, 15 jul. 1936, p.516). La obligación de indemnizar a los trabajadores afectados por estas patologías quedó recogida en la Ley de Enfermedades

Profesionales, aprobada en julio de 1936 (España, 15 jul. 1936, p.515-517). La ley apenas tuvo aplicación dado el inmediato estallido, unos días más tarde, de la Guerra Civil.

El problema de las radiaciones ionizantes no fue contemplado ni en el plano de la compensación ni en la dimensión preventiva durante la primera etapa del desarrollo nuclear español. La normativa general de prevención de riesgos laborales, vigente desde 1940 a 1971, el llamado Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, sólo proporcionaba recomendaciones higiénicas inespecíficas, sin mención explícita a las radiaciones ionizantes.

La administración sanitaria española y algunos sectores profesionales se mostraron sensibles a las recomendaciones de los grupos de trabajo y a las resoluciones sobre protección radiológica adoptadas en las asambleas mundiales de la Organización Mundial de la Salud desde 1956.

La Comisión Nacional de Sanidad y la JEN

La Dirección General de Sanidad (a partir de ahora DGS), organismo responsable de la salud pública en España, creó, en 1955, una Comisión Nacional de Sanidad sobre Aplicaciones de la Energía Atómica, cuyo primer cometido fue velar por el uso de los radioisótopos importados para fines médicos. La DGS organizó desde 1956 un curso sobre "Radiactividad sanitaria y defensa de las poblaciones ante las agresiones con armas nucleares". También se abordaron los problemas de los efluentes radiactivos de las plantas nucleares y la organización de los servicios de protección radiológica en las mismas.

La contaminación ambiental radiactiva fue objeto de atención en la Quinta Reunión Nacional de Sanitarios realizada en Madrid en abril de 1959.

La protección radiológica fue, así mismo, el tema de la primera de las ponencias presentadas en el Primer Congreso Médico Nacional de la Cruz Roja Española, celebrado en Madrid en mayo de 1959.

La JEN, cuyo decreto fundacional contemplaba dichos cometidos y cuya dotación técnica en este campo superaba con creces a la de la DGS. Desde su creación, la JEN contó una Sección de Medicina y Protección de Personal que tenía entre otras misiones el control de las exposiciones radiactivas y la vigilancia de la salud del personal expuesto en los centros de trabajo de la JEN. En 1955, la JEN creó la Comisión Asesora de Medicina y Biología Animal, encargada del asesoramiento sobre el empleo de isótopos radiactivos y de fuentes de radiaciones ionizantes en el campo de la medicina. En 1957 se creó la Sección de Isótopos, que se dotó inmediatamente de sus normas de protección para el uso de isótopos radiactivos. La inminente puesta en marcha del primer reactor experimental, el denominado JEN-1, en el año 1958, impulsó la creación, en 1957, de un Grupo de Seguridad Nuclear en el seno de la JEN, cuyos miembros recibieron formación especializada en la Laboratorio Nacional de Tecnología Nuclear en Oak Ridge (EUA). En 1958 se creó la Comisión Asesora de Seguridad Nuclear.

En diciembre de 1959, más de una década después de haberse iniciado el programa nuclear español, el gobierno aprobó la primera normativa de protección específica frente a las radiaciones ionizantes. La nor-

mativa reconocía los riesgos que para la salud pública y laboral representaban las radiaciones ionizantes y mencionaba explícitamente las obligaciones derivadas de la reciente incorporación de España a la Organización Europea para la Cooperación Económica, creada en 1948 para administrar las ayudas del Plan Marshall y que acabaría transformándose en 1961 en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Entre otras, implicó la obligación de asumir las recomendaciones sobre protección radiológica impuestas por esta organización a los estados miembros.

La normativa de 1959 reguló la protección de las llamadas zonas controladas, en las que podían producirse las exposiciones más elevadas, la protección de la población laboral expuesta ocasionalmente, la de los residentes en las llamadas zonas vigiladas (cercanas a las plantas) y la de la población general. En línea con las directrices internacionales, la normativa contemplaba la obligatoriedad de realizar mediciones de los niveles de radiación en las zonas controladas, imponía los reconocimientos médicos periódicos de los expuestos y asumía la doctrina de reducir al "mínimo prácticamente posible" los niveles de exposición de los trabajadores del sector. Las concentraciones máximas permisibles de isótopos en agua de consumo y en aire inhalado y las dosis máximas de exposición permitidas para la población laboral y general estaban basadas en las recomendaciones de la ICRP de 1958, a su vez inspiradas en las conclusiones del estudio de la Academia de Ciencias estadounidense de 1956.

Es decir, se fijaba la exposición máxima para la población laboral en 5 rems/año, incorporando la fórmula $D = 5 (N-18)$ para permitir que en casos excepcionales pudieran acumularse hasta 12 rems/año. Para la población no laboralmente expuesta pero que pudiera ocasionalmente penetrar en zonas controladas, se fijaba como dosis máxima permisible 1,5 rem/año, y en 0,5 rem/año la dosis máxima para los individuos que habitaran en las cercanías de instalaciones de riesgo. Por último, para la población general se fijaba una dosis máxima acumulada hasta la edad de treinta años de cinco rems. La normativa también contemplaba la obligatoriedad de

instruir e informar a los trabajadores expuestos sobre los peligros para la salud, así como de las precauciones y normas de protección radiológica dispuestas.

La Sección de Protección contra las Radiaciones Ionizantes creada en el seno de la DGS que debía funcionar en íntima conexión con los Servicios de Protección de la JEN. Por último se contemplaba la creación de un órgano consultivo y asesor de la DGS, denominado Comisión Interministerial de Protección contra las Radiaciones Ionizantes. Una de las primeras iniciativas de la Sección de Protección contra las Radiaciones Ionizantes de la DGS, encargada de la formación del personal médico especializado en esta materia, fue la confección de un

Manual de protección radiológica destinado a estudiantes de grado y posgrado de medicina, que fue publicado en 1961. El texto se hizo eco de los principales desarrollos en este campo y reprodujo, entre otros materiales, el Convenio de la Oficina Internacional del Trabajo relativo a la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes, aprobado en junio de 1960.

Legislación Aplicable

A continuación se relaciona la legislación que fue aprobándose en nuestro país:

Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear.

Ley 15/1980 de Creación del CSN.

Ley 14/1999 de Tasas y Precios Públicos del CSN Real Decreto 1157/1982, por el que se aprueba el Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear.

Real Decreto 1836/1999, Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas Real Decreto 783/2001.

Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes Real Decreto 1085/2009 Legislación española aplicable a radiodiagnóstico

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

A continuación se desarrollaron los Protocolos de Vigilancia de la Salud para los trabajadores expuestos a diferentes tipos de riesgos específicos y en concreto a las radiaciones ionizantes.

Ley 14/1999 de Tasas y Precios Públicos del CSN.

Real Decreto 1157/1982, por el que se aprueba el Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear.

Real Decreto 1836/1999, Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.

Real Decreto 783/2001, Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.

Real Decreto 1085/2009 sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de radiodiagnóstico médico.

Real Decreto 413/1997, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

Real Decreto 1841/1997, por el que se establecen los criterios de calidad en medicina nuclear.

Real Decreto 1566/1998, por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia

Real Decreto 1976/1999, por el que se establecen los criterios de calidad en radiodiagnóstico

Real Decreto 1132/90, por el que se establecen medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos

Real Decreto 815/2001, de Justificación del uso para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas

ORDEN MINISTERIAL de 18 de octubre de 1989 por la que se suprimen las exploraciones radiológicas sistemáticas en los exámenes de salud de carácter preventivo.

Instrucción IS-17 del CSN sobre homologación de cursos o programas de formación para el personal que dirija el funcionamiento u opere los equipos en las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico y acreditación del personal de dichas instalaciones.

Guía de seguridad GS-5.9 del CSN: Documentación para solicitar la autorización e inscripción de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X.

Guía de Seguridad GS-5.11 del CSN: Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de radiodiagnóstico médico.

Real Decreto 413/1997, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

Real Decreto 1841/1997, por el que se establecen los criterios de calidad en medicina nuclear. Real Decreto 1566/1998, por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia.

Real Decreto 1976/1999, por el que se establecen los criterios de calidad en radiodiagnóstico Real Decreto 1132/90, por el que se establecen medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos.

Real Decreto 815/2001, de Justificación del uso para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas ORDEN MINISTERIAL 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 298/2009, de 6 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en relación con la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia.

Instrucción IS-17 del CSN sobre homologación de cursos o programas de formación para el personal que dirija el funcionamiento u opere los equipos en las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico y acreditación del personal de dichas instalaciones.

Guía de seguridad GS-5.9 del CSN: Documentación para solicitar la autorización e inscripción de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X.

Guía de Seguridad GS-5.11 del CSN: Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico.

Las Instrucciones del Consejo de Seguridad Nuclear son el instrumento normativo del CSN y son de obligado cumplimiento, destacan:

- La Instrucción del CSN IS-01 en la que se define el formato y contenido del documento individual de seguimiento radiológico o carné radiológico.
- La Instrucción IS-03 sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes.
- La instrucción IS-05 en la que se definen los valores de exención para nucleidos según se establece en las tablas A y B del anexo I del Real Decreto 1836/1999.
- La instrucción IS-07, sobre campos de aplicación de licencias de personal de instalaciones radiactivas.
- La instrucción IS-17 del CSN, por la que se establecen las normas a que habrán de sujetarse la homologación de cursos y acreditaciones del personal que dirija u opere equipos de rayos X de diagnóstico médico.

- La Instrucción IS-18, sobre notificación al CSN de sucesos e incidentes radiológicos en instalaciones radiactivas.
- La Instrucción IS-28, sobre las especificaciones técnicas de funcionamiento que deben cumplir las instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría. Además, cada instalación particular, está obligada a cumplir con lo especificado en la documentación oficial de la instalación y las condiciones que se establezcan en la correspondiente autorización de funcionamiento.



Rafael Herranz Crespo es Licenciado en Medicina por la Universidad de Zaragoza. Con especialización en Oncología Radioterápica. Ha desarrollado su actividad profesional en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid, donde ha sido jefe de servicio de Oncología Radioterápica y del Centro de Radiopatología. Presidente del Consejo del Cuerpo Médico del HGUGM. Presidente de la Comisión de Tumores. Presidente de la Comisión de Garantía y Control de Calidad en Radioterapia. Vicepresidente del Comité de Ética de la Asistencia Sanitaria. Medalla de Protección Civil por la formación en riesgos NRBQ. Profesor Universitario en las Universidades de Zaragoza, 1968-70, del País Vasco, 1971-72 y de la U. Complutense de Madrid 1973-2013. vinculado al Departamento de Radiología y Medicina Física. Profesor de la Escuela de Enfermería del HGUGM.

También ha sido Fundador y Director de la Escuela de Técnicos de segundo grado (posteriormente Superiores), sanitarios. Miembro de las Sociedades Científicas SEOR, ASEICA, SNE y SEPR, habiendo sido miembro de las Juntas Directivas de las dos últimas



Carmen Álvarez, Licenciada con Grado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid; Licenciada en Derecho por la UNED; Diplomada en Instalaciones Radiactivas, Radiobiología y Contaminación Ambiental por la UCM. Su carrera profesional se ha desarrollado en el CSN desde su creación, como Jefa de Proyecto de Rayos X Médicos, desde donde se elaboró, junto con el Ministerio de Sanidad, el primer borrador de Real Decreto sobre instalación y utilización de aparatos de Rayos X con fines de diagnóstico médico; Jefa de Área de Instalaciones Radiactivas y Exposiciones Médicas durante más de 20 años en la Subdirección de PR Operacional (SRO) y Coordinadora Técnica de la SRO. Como representante del CSN ha participado en diferentes Comités. Miembro del FORO de Protección Radiológica en el medio sanitario (CSN, SEPR SEFM)



Eliseo Vaño es Catedrático Emérito de Física Médica de la Universidad Complutense y ha sido Jefe del Servicio de Física Médica del Hospital Clínico San Carlos de Madrid. Ha sido miembro y Presidente del Comité de Protección en Medicina de la ICRP. Ha sido asesor de protección radiológica del Ministerio de Sanidad español y ha representado a España en el Grupo de Expertos de EURATOM de la Unión Europea y en UNSCEAR. Ha participado como experto del OIEA, en varias misiones en Latino América y en Asia. Ha realizado numerosas publicaciones sobre protección radiológica en el área de la Radiología Intervencionista.



Fernando Sierra Díaz, Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Jefe del Servicio de Dosimetría y Radioprotección y Jefe de Protección Radiológica del Hospital General Universitario Gregorio Marañón.

Profesor y coordinador de actividades docentes dirigidas a especialistas médicos en formación, cursos de supervisores de instalaciones radiactivas y dirección de instalaciones de radiodiagnóstico, y formación continuada a distintos estamentos del hospital. Profesor del curso "Fundamentos de Física Médica", impartido por la Universidad Internacional de Andalucía. Miembro del grupo de trabajo de las sociedades científicas (SEFM y SEPR) y la industria electromédica (FENIN) para el desarrollo de protocolos y procedimientos de medida. Vicepresidente Sociedad Española de Protección Radiológica

Sheila Ruiz Maqueda

Es técnico de Radioterapia y dosimetría en el año 2009. Actualmente trabaja en el Hospital Universitario de Fuenlabrada y forma parte del grupo de Emergencias radiológicas, es profesora, coordinadora y tutora del ciclo de FP en Radioterapia y dosimetría en Claudio Galeno. Es vocal de Radioterapia en AETR.

Tiene comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Actualmente, coordina un grupo de trabajo así como congresos y cursos de formación continuada entre otros.



María Jesús Suárez Hernández. Máster en Gestión Hospitalaria y de Servicios de Salud. Universidad CEU Cardenal Herrera, Madrid. Experto Universitario en Gestión de Centros y Servicios de Salud. Universidad CEU Cardenal Herrera, Madrid, 2022. Grado en Radiología. Grado Universitario Europeo Escuela Superior de Tecnología de la Salud de Coimbra, Portugal, 2013. Técnico Especialista en Radiodiagnóstico, Santurtzi. Bizkaia, 1995. Supervisora Servicio Radiología Hospital Universitario Galdakao-Usansolo, mayo 2024-continúa (c.). Presidenta Asociación Española de Técnicos en Radiología, Radioterapia y Medicina Nuclear (AETR). Secretaria Sección Enfermería y Técnicos en Senología (SETS) de la Sociedad Española de Senología y Patología Mamaria (SESPM).



Cristina González Ruiz. Licenciada en Ciencias Físicas y especialista en Radiofísica Hospitalaria. Formada en el Hospital Universitario Central de Asturias en Oviedo, ha desempeñado su actividad como adjunta en este centro, en el Instituto Madrileño de Oncología y, actualmente, en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid, siendo responsable del área de Radiofísica en medicina nuclear, además de trabajar en protección radiológica y braquiterapia.

Ha colaborado en la formación de especialistas como docente y tutora de residentes de la especialidad y de otros colectivos de trabajadores relacionados con las diferentes instalaciones radiactivas del hospital y en proyectos divulgativos y cursos reglados, y también ha participado en grupos de trabajo de la SEFM y en publicaciones científicas nacionales e internacionales en las diferentes áreas de la especialidad.

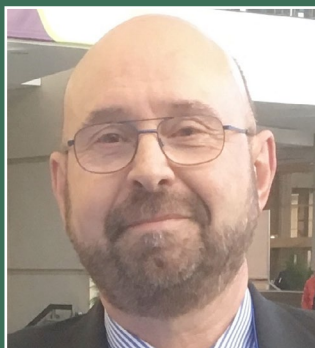


Alberto Biete Solà, se licenció en Medicina por la Universidad Autónoma de Barcelona (U.A.B.) formando parte de la plantilla del Departamento en Oncología Radioterápica, dedicando preferentemente su actividad profesional al área del cáncer de mama y el cáncer ginecológico. Durante los años 1985/86 permaneció en el Royal Marsden Hospital de Londres. Es Diplomado en Gestión Hospitalaria y Diplomado en Patología Mamaria (U.B.). En 1987 se trasladó al Hospital Clínico y Provincial de Barcelona. ha sido Profesor Ayudante y Profesor Asociado desde 1977 hasta 1987 en que ganó una plaza de profesor titular de Radiología en la U.A.B. Ha sido Vicedecano de Medicina de la U.A.B. Es académico numerario de la Real Academia Europea de Doctores y de la Real Academia de Medicina de Cataluña. Académico correspondiente de la Real Academia de Medicina de Zaragoza.





Carlos Ferrer Albiach es Licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad de Valencia en 1984. Residente en Oncología Radioterápica. Hospital Clínico Universitario de Valencia en el periodo 1989-1992. Médico de plantilla en el Hospital Clínico de Valencia desde 1993 hasta febrero de 2000. Doctor en Medicina (Cum-Laude) por la Universidad de Valencia en mayo de 1995. Jefe de Sección de Oncología Radioterápica desde septiembre de 2001 hasta febrero de 2003. Coordinador del Instituto de Oncología del CHPCS. Director del Instituto de Oncología del CHPCS. Director Científico de la Fundación de Investigación del CHPCS, con responsabilidad en la gestión de la investigación. Vicepresidente del Comité de Bioética del CHPCS desde 2013 hasta la actualidad. Presidente del Comité de Ética e Investigación Médica del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón. Presidente de la Sociedad Española de Oncología Radioterápica (SEOR) en el periodo 2017-2019. Presidente de la Federación de Sociedades Españolas de Oncología (FESEO).



José Pardo Masferrer, es Licenciado en Medicina y Cirugía. Universidad Autónoma de Barcelona. Médico Especialista en Oncología Radioterápica. Universidad Complutense de Madrid. Doctor en Medicina y Cirugía. Universidad Complutense de Madrid. Jefe del Servicio de Oncología Radioterápica. Hospital General de Cataluña QuirónSalud. Barcelona 2023 hasta la actualidad. Coordinador Autonómico de Oncología Radioterápica. Servicio de Salut Illes Balears. Jefe del Servicio de Oncología Radioterápica. Palma de Mallorca 2012-2023. Profesor Asociado de Oncología y Radioterapia. Facultad de Medicina. Universitat de les Illes Balears. Coordinador Grupo Seguridad del Paciente y Control de Calidad de SEOR. 2014-2023. Coordinador de Investigación de Oncología Radioterápica. Hospitales del Grupo QuirónSalud, 2010-2012. Jefe del Servicio de Oncología Radioterápica. Hospital General de Cataluña QuirónSalud. Barcelona 2002-2009. Jefe del Servicio de Oncología Radioterápica. Hospital Universitario Son Dureta. Palma de Mallorca 1996-2002.



Luis Concepción Aramendía. Asistente investigación. Unidad de Radiología Intervencionista. Hospital Dr. Peset. Valencia. Enero -Junio 1999. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Unidad RM Hospital Virgen de los Lirios. Alcoy. Alicante. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Responsable Unidad RM. Hospital General Universitario de Alicante. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Unidad RM. Royal Liverpool University Hospital. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Unidad Neuroradiología Diagnóstica e intervencionista. Hospital General Universitario de Alicante. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Jefe Servicio Radiología. Hospital Virgen de los Lirios. Alcoy. Alicante. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Jefe Sección RM. Hospital General Universitario de Alicante. Alicante. Facultativo Especialista Radiodiagnóstico. Jefe Servicio Radiología. Hospital General Universitario de Alicante.



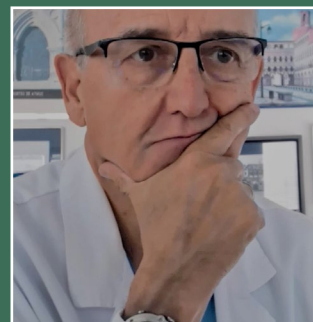
Javier Orcajo Rincón. Es profesor asociado de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid. Master Propio en Gestión Clínica, Dirección Médica y Asistencial. Universidad San Pablo CEU. Master Universitario en Imagen Médica de la Universidad Francisco de Vitoria. Referente de Seguridad del Paciente Servicio de Medicina Nuclear HGUGM. Profesor Asociado Departamento de Radiología y Medicina Física de la Universidad Complutense de Madrid. Forma parte de la Junta Directiva del Grupo Español de Investigación en Sarcomas (GEIS).

Amaia Mari Hualde. Es profesora asociada de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid. Master Tumores Neuroendocrinos de la Universidad Complutense de Madrid. Experto en Imagen Cardíaca de la Universitat de Barcelona (2021). Master de Investigación en Medicina Traslacional por la Universidad Complutense de Madrid.

Laura Reguera Berenguer. Licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad de Navarra. Especialidad en Medicina Nuclear en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón. También ha trabajado como Médico especialista en Medicina Nuclear en el Hospital San Roque de Las Palmas de Gran Canaria. En la actualidad trabaja como médico especialista en Medicina Nuclear en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Madrid. Tiene experiencia docente como profesora colaboradora en la Escuela de Técnicos de Imagen para el diagnóstico, como médico colaborador en Docencia Práctica del Departamento de Radiología y Medicina Física de la Facultad de Medicina.

María Luisa Estupiñan Espinosa, es licenciada en medicina y cirugía por la facultad de medicina de la Universidad de Zaragoza. Especialista en Medicina del Trabajo por la Universidad Complutense de Madrid. Supervisora de instalaciones radiactivas en el área de biomedicina e investigación. Máster en gestión de la prevención de la empresa. Técnico superior de prevención: especialista en seguridad en el trabajo, higiene industrial y ergonomía y psicología aplicada. Máster en urgencias, emergencias y atención continuada. Médico en el Servicio Médico de Construcción de la Central Nuclear de Trillo. Responsable de vigilancia de la salud del Servicio de Prevención de Central Nuclear de Trillo. Jefe de prevención de riesgos de la Central Nuclear de Trillo. Actualmente es jefe de vigilancia de la salud de Trillo.

José María Escudero Bayón. Licenciado en Medicina y Cirugía por la Facultad de Medicina Universidad de Extremadura (1974-1980). Médico Especialista en Medicina del Trabajo. Experto en Salud Ocupacional por la Universidad Complutense de Madrid. Técnico Superior de Prevención con las especialidades de Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial y Ergonomía y Psicología Aplicada. 1983-2023 Jefe Servicios Médicos ENUSA Industrias Avanzadas S.A. SME. 2004-2023: Jefe de Prevención de Riesgos Laborales del Grupo ENUSA





Alfredo Brun Jaén. Ha sido Jefe de Servicio de Salud Laboral en El Cabril, Enresa, durante 32 años. Es licenciado en medicina y cirugía con el grado de licenciado por la Universidad de Málaga. Especialista en medicina del trabajo. Con máster en medio ambiente, en gestión para jefes de servicio salud laboral y en ergonomía y psicología (Univ. Suffolk). Ha hecho colaboraciones periódicas mensuales con el Grupo Médico Nuclear de UNESA en donde se desarrollan protocolos específicos de actuación sanitaria en Protección Radiológica. Cursos sobre prevención del dolor de espalda al personal con riesgo postural cada dos años al personal de ENRESA. Cursos anuales sobre evacuación y rescate para la brigada contra incendio. Cursos sobre lucha y prevención contra el estrés laboral al personal de ENRESA y Jornadas de Biomecánica.



Salvador Raúl Ramos de la Plaza. Es Doctor en Medicina Nuclear y funcionario de Carrera de la Escala Superior del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica 1989 a dic. 1998.

Ha sido presidente del Tribunal Médico de Licencias de Supervisores y Operadores de Instalaciones Radiactivas y Nucleares. Jefe de Unidad de Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas y de Servicios Médicos Especializados.

Experto en: Estimación de daño debido a la exposición a radiaciones ionizantes. National Radiological Protection Board. Gran Bretaña, ASQRAD 1995 y Gestión Sanitaria (Escuela de Servicios Sanitarios y Sociales. Gobierno de Canarias), Vigilancia epidemiológica Escuela Nacional de Sanidad. Madrid, Sistemas de Estimación de Dosis en Emergencia. 1997. CSN. Madrid

Ha trabajado como Inspector de Centros y Servicios Sanitarios del Servicio de Acreditación. Dirección del Servicio Canario de la Salud. 2000-2021 y responsable de la Sección de Centros Hospitalarios y de Cirugía Mayor Ambulatoria.

