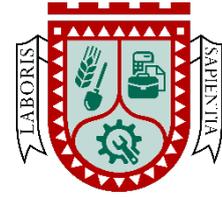




universidad
de león



Máster Universitario en Gestión de Prevención de Riesgos
Laborales

Facultad de Ciencias del Trabajo

Universidad de León

Curso 22 / 23

PLAN DE PREVENCIÓN A RADIACIONES
IONIZANTES DEL TÉCNICO EN IMAGEN
PARA DIAGNÓSTICO Y MEDICINA NUCLEAR

IONISING RADIATION PREVENTION PLAN
FOR A TECHNICIAN IN DIAGNOSTIC
IMAGIND AND NUCLEAR MEDICINE

Realizado por el alumno D. Raquel de Prado Fernández

Tutorizado por el profesor D. Jesús Cepeda Riaño

Tabla de contenido

1. Objeto del trabajo	1
2. Metodología	2
3. Normativa aplicable	3
4. Introducción	5
5. Descripción del puesto de trabajo	5
6. Radiación. Tipos	5
6.1. Radiación no ionizante	6
6.2. Radiación ionizante	6
7. Equipos que producen radiaciones ionizantes relacionados con el puesto de trabajo	7
7.1 Sala de radiología convencional	8
7.2. Salas de tomografía axial computerizada (TAC)	9
7.3. Salas de mamografía	10
7.4. Salas de angiografía	12
7.5. Salas de densitometría	12
8. Organigrama y responsabilidades	13
8.2. Funciones y obligaciones	13
7.1.1 Dirección del centro	13
7.1.2. Dirección de gestión.....	13
7.1.3. Jefe de servicio	13
7.1.4. Personal del área de diagnóstico por imagen	14
7.1.5. Servicio de prevención de riesgos laborales	14
7.1.6. Responsable de adquisición de equipos	14
7.1.7. Responsable del mantenimiento de equipos.....	14
8.3. Servicio de protección radiológica	15
7.2.1 Funciones	15
9. Obligaciones del empresario	16

10. Medidas fundamentales de protección radiológica.....	17
10.1. Riesgos radiológicos	17
10.2. Límites de dosis	17
10.2.1. Unidades de medida	17
10.2.2. Tipos de dosis.....	18
10.3. Clasificación de zonas	20
10.3.1. Zona controlada.....	20
10.3.2. Zona vigilada.....	21
10.4. Señalización	21
10.4.1. Peligro por radiación externa	21
10.4.2. Peligro por contaminación	21
10.4.3. Identificación de colores en la señalización.....	22
10.5. Clasificación del personal.....	23
10.6. Medidas de protección colectivas.....	24
10.7. Equipos de protección individual	26
11. Vigilancia de la radiación.....	28
11.1. Dosimetría de área	28
11.2. Evaluación de la exposición en trabajadores expuestos	29
11.2.1. Determinación de la dosis por radiación externa	29
11.2.2. Determinación de la dosis por radiación interna.....	29
11.2.3. Dosimetría personal	30
11.2.4. Historial dosimétrico	33
11.3. Vigilancia y control de material radiactivo y residuos	33
12. Formación e información en protección radiológica	35
13. Evaluación de riesgo.....	35
13.1. Probabilidad del riesgo	36
13.2. Consecuencias del daño	36
13.3. Niveles de riesgo	36
14. Procedimientos de emergencias.....	37

14.1. Accidentes e incidentes	38
14.2. Posibles emergencias en el área de radiodiagnóstico	38
14.3. Actuaciones ante emergencias.....	38
14.4. Plan de evacuación	39
15. Conclusiones.....	42
REFERENCIAS.....	43

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. El espectro electromagnético. Fuente: el rincón de la ciencia	7
Ilustración 2. Equipo rayos X. Fuente: Serteimed S.L.....	9
Ilustración 3. Equipo TAC. Fuente: Neurología Madrid	10
Ilustración 4. Mamógrafo. Fuente: Clínica Corachán	11
Ilustración 5. Angiografía. Fuente: SBE Tecnología Médica	12
Ilustración 6. Equipo densitometría. Fuente: GEMA Centres Mèdics.....	13
Ilustración 7. Valores del factor de ponderación en el cuerpo humano. Fuente: Consejo Seguridad Nuclear	19
Ilustración 8. Señal peligro por radiación externa. Fuente: PRLaborales	21
Ilustración 9. Señal de peligro por contaminación. Fuente: PRLaborales	22
Ilustración 10. Muestra de colores de las señales de peligro por radiación	23
Ilustración 11. Cartel alerta radiaciones ionizantes.....	25
Ilustración 12. Cartel alerta para embarazadas. Fuente: Pacientera Biología	25
Ilustración 13. Delantales de plomo. Fuente: OG Ingeniería médica	27
Ilustración 14. Gafas plomadas. Fuente: Centro óptico y Auditivo Prisma.....	27
Ilustración 15. Guantes plomados. Fuente: protección radiológica	27
Ilustración 16. Contador Geiger.....	28
Ilustración 17. Dosímetro de pluma. Fuente: Twilight	30
Ilustración 18. Dosímetro de película. Fuente: Alamy.....	31
Ilustración 19. Dosímetro de luminiscencia. Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	31
Ilustración 20. Dosímetro digital. Fuente: Medical Expo	32
Ilustración 21. Contenedor residuos radiactivos. Fuente: Medical Expo.....	34
Ilustración 22 Ejemplo de plano de evacuación. Fuente: Seguridad Industrial y Ciudadana.....	39
Ilustración 23. Ejemplo cartel de emergencias. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona....	40

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de radiaciones no ionizantes	6
Tabla 2 Límite dosis para trabajadores expuestos.....	19
Tabla 3 Señales de peligro por radiación por zonas.....	22
Tabla 4 Categoría de los trabajadores	23
Tabla 5 Vigilancia de la radiación. Fuente: Universidad Complutense de Madrid	33
Tabla 6 Matriz de riesgo.....	37

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se analizará el plan de prevención de un técnico de imagen para diagnóstico y medicina nuclear. Estará centrado en el riesgo de recibir radiación ionizante. Se hará un estudio de los diferentes tipos de radiaciones que hay. Además, se verán los distintos equipos que operan con radiaciones ionizantes disponibles en un hospital, dentro del área de radiodiagnóstico. A su vez, se clasificarán a los trabajadores y a las zonas dentro del área. Utilizando el método del Instituto de Seguridad y Salud en el trabajo de la matriz de riesgo, analizaremos uno de los riesgos que tiene un técnico de radiodiagnóstico. A la finalización de este, se observarán las conclusiones a las que he llegado al acabar este proyecto.

ABSTRACT

This Final Master Project will analyse the prevention plan of a diagnostic imaging and nuclear medicine technician. It will focus on the risk of receiving ionising radiation. A study will be made of the different types of radiation that exist. In addition, the different types of equipment that operate with ionising radiation available in a hospital, within the radiodiagnostic area, will be seen. In turn, workers and zones within the area will be classified. Using the Instituto de Seguridad y Salud en el trabajo's risk matrix method, we will analyse one of the risks that a radiodiagnostic technician has. At the end of this, the conclusions I have reached at the end of this project will be noted

1. Objeto del trabajo

El objeto de este trabajo es exponer la importancia de tener un plan de prevención en cualquier puesto de trabajo. He elegido hacerlo sobre las radiaciones ionizantes debido a que es un tipo de agente físico que no se puede sentir, como si puede el sonido o el estrés térmico y de ahí la importancia de saber cómo protegerse ante un riesgo de estas características. Como sabemos, las radiaciones ionizantes son básicas para el diagnóstico de enfermedades y para los tratamientos oncológicos. Al ser un tipo de energía tan importante, y tan actual, debido a la crisis energética, he querido centrar este plan de prevención en el uso de las radiaciones ionizantes en los equipos de radiodiagnóstico. También he escogido este tema debido a mi formación anterior como ingeniera de la energía.

Otro de los objetos de este trabajo ha sido englobar las asignaturas cursadas durante la realización de este máster y poder utilizar conceptos de cada una de ellas en este trabajo, dándoles así su importancia y su unión entre ellas para poder elaborar este plan.

2. Metodología

He seguido diferentes métodos de búsqueda de información para la realización de este trabajo de fin de máster.

Me he basado constantemente en la normativa respecto a las radiaciones ionizantes (descrita en las referencias) buscando en el Boletín Oficial del Estado la legislación vigente y también he hecho uso del Consejo de Seguridad Nuclear que, junto con la normativa, dicta el camino a seguir respecto a la protección en los puestos de trabajo frente a las radiaciones ionizantes.

Mediante entrevistas a trabajadores de diferentes áreas de radiodiagnóstico, he podido comprobar la rigurosidad de los protocolos para trabajar con un agente físico de estas características, un agente físico que no se puede sentir. En este caso, me ha sido difícil recabar información de los centros hospitalarios, debido a que los planes de prevención frente a radiaciones ionizantes son de carácter interno.

También, he podido utilizar apuntes de distintas asignaturas de la carrera para la realización de algunas partes del trabajo de fin de máster. Asignaturas como agentes físicos; aspectos generales sobre administración y gestión empresarial: planificación y organización de la prevención; comunicación, información y técnicas de negociación; conceptos básicos; formación preventiva; introducción a la seguridad en el trabajo, entre otras, me han servido de mucha ayuda para poder organizar bien las ideas.

3. Normativa aplicable

Para la ejecución del presente plan de prevención, se han consultado las siguientes normativas:

- Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
- 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 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- 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 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.
- Real Decreto 451/2020, de 10 de marzo, sobre control y recuperación de las fuentes radiactivas huérfanas.
- 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 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.

- Resolución de 21 de marzo de 2023, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo por el que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes en el ámbito de la protección civil.
- Instrucción de 31 de mayo de 2001, del Consejo de Seguridad Nuclear, número IS-01 por la que se define el formato y contenido del documento individual de seguimiento radiológico (carné radiológico) regulado en el Real Decreto 1029/2022.
- Instrucción número IS-06, de 9 de abril de 2003, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se definen los programas de formación en materia de protección radiológica básico y específico regulados en el Real Decreto 1029/2022.
- Instrucción IS-08, de 27 de julio de 2005, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre los criterios aplicados por el Consejo de Seguridad Nuclear para exigir, a los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas, el asesoramiento específico en protección radiológica.
- 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 e incidentes radiológicos.
- Instrucción IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural.
- Instrucción IS-40, de 26 de abril de 2016, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre documentación que debe aportarse en apoyo a la solicitud de autorización para la comercialización o asistencia técnica de aparatos, equipos y accesorios que incorporen material radiactivo o sean generadores de radiaciones ionizantes.

4. Introducción

El siguiente plan de prevención se va a definir para un técnico en imagen para diagnóstico. Se tratará en específico la exposición a las radiaciones ionizantes que tenga este profesional en el ámbito laboral y se evaluará un riesgo derivado de su trabajo utilizando el método proporcionado por el INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo). [1] [2] [3]

5. Descripción del puesto de trabajo

Un técnico en imagen para el diagnóstico o un técnico de rayos, es un profesional de la salud que opera equipos de diagnóstico que emiten radiación para obtener imágenes médicas y poder diagnosticar problemas de salud. Las principales responsabilidades de un técnico en imagen para el diagnóstico son:

- Preparar y posicionar a los pacientes correctamente para obtener imágenes radiológicas precisas.
- Operar equipos de diagnóstico por imágenes.
- Ajustar los parámetros técnicos de los equipos de acuerdo con la parte del cuerpo que vaya a ser sometida al estudio.
- Colaborar con el equipo médico para obtener imágenes precisas y de alta calidad.
- Asegurarse de que se capturen las áreas de estudio en la imagen radiológica.
- Garantizar la seguridad del paciente y del personal.
- Mantener registros precisos de los procedimientos realizados.
- Brindar apoyo y tranquilidad a los pacientes.
- Realizar el mantenimiento básico de los equipos y reportar cualquier problema técnico o mal funcionamiento.

6. Radiación. Tipos

La radiación es energía que es desplazada en forma de ondas o mediante un conjunto de partículas. Estamos expuestos constantemente a radiaciones naturales, como puede ser el sol. Por esta razón, la radiación, generalmente no supone riesgo, pero dependiendo del origen y de la exposición a la misma, si puede llegar a afectar nuestra salud.

Podemos distinguir dos tipos de radiación según su energía: radiación no ionizante y radiación ionizante.

6.1. Radiación no ionizante

Es la radiación cuya energía es insuficiente para arrancar electrones o moléculas que componen los seres vivos o la materia. Puede generar calor, ya que esa energía es suficiente para hacer vibrar las moléculas. Esta radiación, en principio, no presenta problemas para la salud general, pero los trabajadores expuestos continuamente en sus trabajos a estas radiaciones sí que necesitarán medidas de protección frente a ella.

Se encuentran los siguientes tipos, ordenados de menor a mayor cantidad de energía:

Tabla 1. Tipos de radiaciones no ionizantes

Tipo	Rango energía
Campos eléctricos y magnéticos estáticos	0-1 Hz
Ondas electromagnéticas de extremadamente baja frecuencia (ELF)	1-3 kHz
Ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia	3-30 kHz
Ondas radiofrecuencia (RF)	30 kHz-1 GHz
Microondas	1-300 GHz
Infrarrojos	300 GHz-385 THz
Luz visible	385-750 THz
Radiación ultravioleta (UV)	800-30000 THz

6.2. Radiación ionizante

Este tipo de radiación sí es capaz de arrancar electrones de los átomos o moléculas, por consiguiente, producirá cambios en la materia o en los seres vivos a nivel atómico. La peligrosidad de esta radiación dependerá de la dosis; mientras que en dosis elevadas puede llegar a ser letal, en dosis adecuadas y siempre correctamente protegidos, estas

radiaciones tienen muchos usos positivos: desde la producción de energía eléctrica, hasta aplicaciones médicas.

Al ser una energía tan potente, la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) da apoyo a los legisladores y reguladores de cada país a través de un sistema de normas de seguridad para proteger así a los trabajadores, pacientes y al medio ambiente en su conjunto frente a esos posibles riesgos que pueda ocasionar la radiación ionizante.

Las radiaciones ionizantes se pueden clasificar:

- Radiación electromagnética: son fotones con la suficiente energía para ionizar la materia. Se clasificarán en rayos X y rayos γ .
- Radiación corpuscular: solo se producirán mediante rayos cósmicos o por aceleradores de muy alta energía. Se incluyen las partículas α y β .

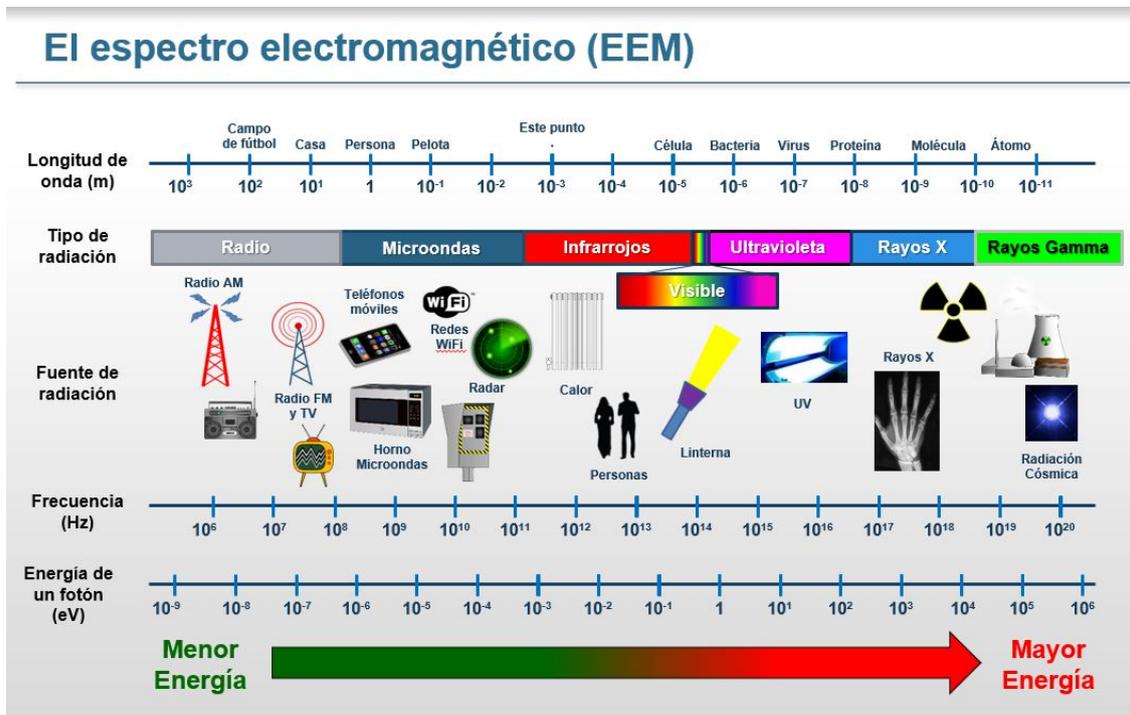


Ilustración 1. El espectro electromagnético. Fuente: el rincón de la ciencia

7. Equipos que producen radiaciones ionizantes relacionados con el puesto de trabajo

En las áreas de radiodiagnóstico de un hospital se encuentran los siguientes medios técnicos. [4]

- Sala radiología convencional
- Sala tomografía computerizada

- Sala ecografía
- Sala resonancia magnética
- Sala mamografía
- Sala angiografía
- Sala densitometría

De los anteriores medios cabe destacar, que hay dos equipos que no utilizan rayos X para operar: los ecógrafos y la resonancia magnética. Los demás equipos, operarán todos con rayos X y siguiendo un mismo mecanismo. Todos ellos dispondrán de

- Generador de rayos X:
 - o Consola: donde se controla la exposición radiográfica
 - o Transformador: suministrará el voltaje necesario para el equipo. Oscilan entre 40 kV y 120 kV.
- Tubo de rayos X: componente donde se originan los rayos X. Los rayos X se producen cuando los electrones que salen a gran velocidad del cátodo, chocan abruptamente contra el ánodo. El proceso de desaceleración, genera un haz de rayos X. Los rayos X serán dirigidos hacia el paciente, mientras que los residuales se dirigirán a la película radiográfica, y se convertirán en la imagen radiográfica. Estas imágenes serán mandadas a un ordenador que reflejarán lo siguiente:
 - o Los huesos, que son estructuras densas, bloquearán la mayor parte de las ondas, y aparecerán en color blanco.
 - o Los contrastes o tintes especiales, que se utilizarán para poder resaltar las partes del cuerpo que se quieren observar, también aparecerán en color blanco.
 - o Las estructuras con aire se verán negras.
 - o La grasa, los líquidos y los músculos, se verán en color gris.
- Mesa radiográfica: parte del equipo donde se posiciona el paciente.

7.1 Sala de radiología convencional

En esta sala se encontrarán los aparatos de rayos X. Estas máquinas envían ondas individuales de rayos X a través del cuerpo. Servirán para diagnosticar problemas óseos.

[5] [6]



Ilustración 2. Equipo rayos X. Fuente: Serteimed S.L.

7.2. Salas de tomografía axial computerizada (TAC)

Consiste en tomas de imágenes con rayos X mediante la proyección de un haz de rayos X a un paciente. Esta proyección gira alrededor del cuerpo rápidamente. Produce unas señales que serán procesadas por la computadora para generar los llamados “cortes”, que son imágenes tomográficas más detalladas que las imágenes obtenidas con el aparato de rayos X convencional.

La diferencia principal de un aparato de tomografía computerizada y uno de rayos X convencional, es la forma del tubo de rayos. En las salas de radiología convencional, el tubo de rayos es fijo, mientras que en un aparato de TC, se utiliza una fuente monitorizada de rayos X que gira alrededor de una estructura circular denominada Gantry.

Cada vez que la fuente de rayos X hace un giro completo, mediante técnicas matemáticas, la computadora es capaz de construir una imagen bidimensional del paciente.

Este método de diagnóstico tiene la gran ventaja de poder ir al detalle, ya que es capaz de realizar hasta incluso imágenes en 4 dimensiones. [7] [8]



Ilustración 3. Equipo TAC. Fuente: Neurología Madrid

7.3. Salas de mamografía

La realización de mamografías requiere una alta especialización de la técnica radiográfica, debido al tejido a estudiar. Es así debido a que los tejidos glandular, graso, epitelial y conjuntivo, presentan pocas diferencias respecto al haz de radiación. También es debido al tamaño de las estructuras mamarias, que son demasiado pequeñas. Podemos ver las diferencias más importantes en: [9] [10]

- **Generador:** en los mamógrafos se suele rectificar la corriente alterna en corriente continua haciendo uso de convertidores de alta frecuencia. Esto es para obtener una corriente continua prácticamente constante, con la que poder tener muy poca variación de voltaje, el paciente se tenga que exponer un tiempo menor y la dosis de radiación sea, a su vez, menor.
- **Miliamperaje:** como se ha comentado anteriormente, con la mamografía se pretende que el paciente esté el menor tiempo expuesto a radiación posible. Por lo tanto, se necesita una potencia del generador suficientemente alta para ello, y por esto, un elevado miliamperaje.
- **Tubo de rayos X:** es el elemento más complejo de fabricar y diseñar, ya que tiene que tener unas muy buenas características de disipación del calor. Obteniendo tan

solo un 1% de rayos X frente a un 99% de calor, habrá una intensidad de corriente elevada y una menor exposición del paciente a radiación. Otra de las diferencias frente a un tubo de rayos X convencional, es que el ánodo de un tubo de rayos X de un mamógrafo será de molibdeno.

- Colimación: en mamografías, la colimación permitirá el ennegrecimiento de la película no cubierta por la mama. Esto permitirá reducir tanto la dosis del paciente, como la recibida por el operador.
- Compresión: las mamas se comprimirán más de 4-5 cm para obtener una buena mamografía, ya que:
 - o Se reduce la radiación dispersa
 - o Se reduce la posibilidad de superposición de imágenes
 - o Se reduce la borrosidad
 - o Se reduce la dosis de radiación
- Parrilla antidifusora: servirá para evitar la dispersión de la radiación, con la consecuente reducción de la dosis recibida por el paciente y operario.



Ilustración 4. Mamógrafo. Fuente: Clínica Corachán

7.4. Salas de angiografía

El angiógrafo es un equipo médico que también hace uso de los rayos X. En este caso, se usan los rayos X para observar los vasos sanguíneos (arterias y venas) del organismo. Por medio de un catéter, se inyecta contraste en el organismo para resaltar esas zonas que se quieren observar utilizando un aparato de rayos X denominado angiógrafo. [11]



Ilustración 5. Angiografía. Fuente: SBE Tecnología Médica

7.5. Salas de densitometría

En ellas estarán los equipos encargados de realizar densitometrías óseas. Estas pruebas, que también son conocidas como pruebas DEXA, son radiografías de una dosis de radiación baja en las que se mide el calcio, entre otros minerales, en los huesos.

Consiste en un aparato con un tubo de rayos X colocado bajo la camilla donde se posicionará el paciente. En el otro lado del mismo, habrá unos detectores de radiación colocados linealmente que serán los encargados de realizar el barrido sobre la zona a observar del paciente.

Por medio del ordenador, se proyectarán unas imágenes, que el médico especializado comparará con las medias obtenidas de la población general. [12]

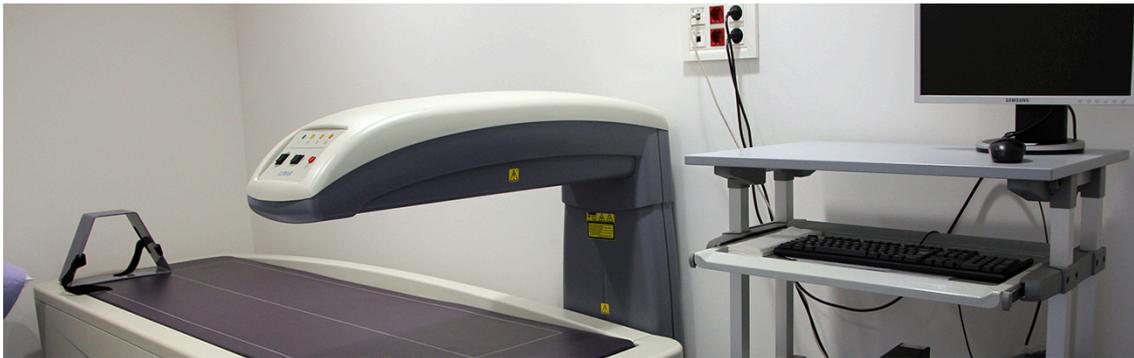


Ilustración 6. Equipo densitometría. Fuente: GEMA Centres Mèdics

8. Organigrama y responsabilidades

8.2. Funciones y obligaciones

7.1.1 Dirección del centro

El director del centro hospitalario será el representante del titular y máximo responsable legal de que se sigan las instrucciones de seguridad en cuanto a las radiaciones ionizantes. También se encargará de la coordinación del servicio de radiología en cuanto a mantenimiento, utilización y gestión del servicio. [13] [14]

El CSN (Consejo Seguridad Nuclear) será el encargado de realizar inspecciones de toda la sala de radiología. El director del centro será quien implantará un programa de calidad acorde con las instrucciones del CSN, y también está obligado a facilitar la documentación a los funcionarios del CSN cuando pasen las auditorías pertinentes. [15]

7.1.2. Dirección de gestión

Será la responsable de:

- Contratación de personal
- Adquisición de los equipos con emisión de radiaciones ionizantes
- Obras que afecten a las instalaciones donde se encuentren las instalaciones con riesgo radiológico

7.1.3. Jefe de servicio

Será quien se encargue de establecer las responsabilidades en lo relativo al funcionamiento de las instalaciones radiactivas. También, se encargará de coordinar con el jefe del servicio de prevención de riesgos laborales las actividades del área de radiación.

7.1.4. Personal del área de diagnóstico por imagen

Las responsabilidades de las personas que formen parte de esta área serán:

- Supervisor de instalación radiactiva: será el encargado de llevar al día el diario de operación del área. Estará obligado a cumplir las normas del manual de protección radiológica y del reglamento de funcionamiento en el plan de emergencias. Tendrá autoridad para, en cualquier momento, detener la actividad en el área si considera que no están trabajando en un entorno de seguridad frente a las radiaciones ionizantes. Deberá comunicarlo inmediatamente al servicio de prevención de riesgos laborales y sólo se podrá reanudar la actividad si se vuelven a tener todas las garantías de seguridad.
- Operador del área: podrá manipular tanto el material radiactivo como los equipos, siempre que su supervisor esté al corriente y tenga su debida autorización. En caso de que considere que no se trabaja en un entorno seguro, podrá paralizar la actividad si no puede informar al supervisor de la situación.
- Especialista en radiofísica hospitalaria: las instalaciones de diagnóstico por imagen dispondrán de un especialista en radiofísica dentro de las estancias del hospital.
- Personal sin acreditación ni licencia: si trabajan en el área de radiación, deberán conocer y cumplir con las normas de protección. También, deberán saber cómo actuar en caso de emergencia.

7.1.5. Servicio de prevención de riesgos laborales

Colaborará junto al servicio de protección radiológica para la evaluación de los riesgos laborales frente a las radiaciones ionizantes.

7.1.6. Responsable de adquisición de equipos

Colaborará con el servicio de protección radiológica para escoger equipos, estudiando el riesgo de cada uno de ellos.

7.1.7. Responsable del mantenimiento de equipos

Colaborará con el servicio de protección radiológica en cuanto al mantenimiento preventivo o correctivo de los equipos con riesgo radiológico.

8.3. Servicio de protección radiológica

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) puede requerir al hospital que disponga de un servicio de protección radiológica o de una Unidad Técnica de Protección Radiológica contratada (UTPR) para asesorar de manera específica.

Este equipo, en caso de existir, deberá estar organizado de la siguiente manera:

- Jefe de SPR que será especialista en radiofísica hospitalaria. Tendrá que tener un diploma que se lo otorgará el Consejo de Seguridad Nuclear.
- Especialistas en radiofísica hospitalaria
- Técnicos superiores en radioterapia o en diagnóstico por imagen
- Administrativos

7.2.1 Funciones

El servicio de protección radiológica se encargará de:

- Emitir informes y evaluar en los siguientes casos:
 - o Si se modifican alguna de las instalaciones radiactivas existentes
 - o Aprendizaje de nuevas técnicas y modificación de las condiciones de trabajo con las instalaciones radiológicas
 - o Mantenimiento periódico de las instalaciones
 - o Colaborar con el servicio de prevención
 - o Informar sobre técnicas nuevas radiológicas
 - o Investigar incidentes que pueden ocurrir en el área de diagnóstico por imagen
- Vigilancia de las operaciones del área de diagnóstico por imagen
 - o Clasificar las zonas con riesgo radiológico
 - o Vigilancia, junto con el servicio de prevención, de la salud de los trabajadores expuestos
 - o Vigilancia de las instalaciones, analizando la medida de radiación existente
 - o Gestión de los residuos radiactivos
 - o Calibración de los equipos
- Control administrativo
 - o Registrar los datos recogidos de la vigilancia a la salud de los trabajadores, centrándose en dosis de radiación recibida y archivar esos datos para llevar el adecuado control histórico dosimétrico que deberá ser entregado a cada

trabajador

- Conocer la actividad de cada equipo de radiodiagnóstico
- Formación a los trabajadores
 - Realizar cursos de formación a los trabajadores para informarles sobre la importancia y utilización de las distintas protecciones radiológicas
 - Establecer una formación continuada

9. Obligaciones del empresario

Tanto cuando se trata de un hospital público como cuando se trata del área de radiación de un hospital privado, la administración pública o el empresario tendrán la obligación de proteger a los trabajadores frente a los riesgos laborales de sus puestos de trabajo. Deberá garantizar la salud de todos ellos integrando la actividad preventiva en la empresa.

La administración pública o el empresario, deberán aplicar las medidas oportunas respecto a la prevención de riesgos laborales mediante los siguientes principios de la acción preventiva:

- Evitar los riesgos.
- Los riesgos que el empresario o la administración pública no consigan evitar, deberán ser evaluados.
- Se deberá adaptar el trabajo a cada persona. Se tenderá a evitar el trabajo monótono y repetitivo eligiendo los equipos y las metodologías de trabajo que así lo consigan. Así se podrán reducir los efectos de este tipo de trabajo en la salud del trabajador.
- Se deberá tener en cuenta la evolución de las metodologías, los equipos y las técnicas de trabajo, escogiendo así las que entrañen menos peligro para los trabajadores.
- Se deberá sustituir lo peligroso (técnicas, equipos o metodologías) por lo que entrañe menos peligro o incluso ningún peligro.
- Siempre se deberá planificar la prevención organizando las tareas en los puestos laborales, integrando la técnica, las condiciones laborales y la influencia que puedan tener los factores externos o ambientales en los puestos laborales.
- Siempre se dará preferencia a la protección colectiva ante la individual.
- El empresario o la administración están obligados a dar instrucciones a los

trabajadores en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo.

10. Medidas fundamentales de protección radiológica

10.1. Riesgos radiológicos

Los riesgos radiológicos a los que se expondrán los trabajadores objeto de este proyecto serán los provenientes de la irradiación de los equipos vistos en el apartado 6. En las técnicas de diagnóstico por imagen, los equipos equipados con un tubo de rayos X serán aquellos que emitan irradiación externa que será la que se tenga que controlar y evaluar. [16]

10.2. Límites de dosis

Para calcular el límite de dosis al que puede estar expuesto un trabajador, antes hay que definir tanto las unidades de medida de la radiación como los diferentes tipos de dosis que se pueden medir: [17]

10.2.1. Unidades de medida

- Becquerel (Bq): es la unidad que mide la radiactividad

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración atómica/s}$$

- Sievert (Sv): es la unidad que mide la dosis de radiación, aunque para hablar de protección radiológica es más frecuente utilizar el miliSievert y el microSievert:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mSv} &= 0,001 \text{ Sv} \\ 1 \mu\text{Sv} &= 0,000001 \text{ Sv} \end{aligned}$$

- Coulombio/kilogramo (C/kg): es la unidad que mide la cantidad de radiación necesaria para ionizar el aire. A pesar de que esta unidad sea la que define el Sistema Internacional para medir la exposición, se suele usar más el Roentgen:

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

- Gray (Gy): es la unidad que mide la dosis absorbida en Julios por kilogramo

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

10.2.2. Tipos de dosis

- Dosis absorbida: es la medida de la cantidad de energía que absorbe la materia procedente de la sustancia radiactiva. La unidad de medida es el Gray (Gy). Solo con esta magnitud no se puede evaluar el efecto biológico que produce la radiación, por lo que se tienen que definir más tipos de dosis de radiación.
- Dosis equivalente: es la dosis que absorbe un tejido ponderada en función del tipo de radiación y calidad de la misma. Se expresa mediante:

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R}$$

En donde:

- $H_{T,R}$ = dosis equivalente
- $D_{T,R}$ = dosis absorbida
- W_R = factor de ponderación representado en la siguiente imagen:

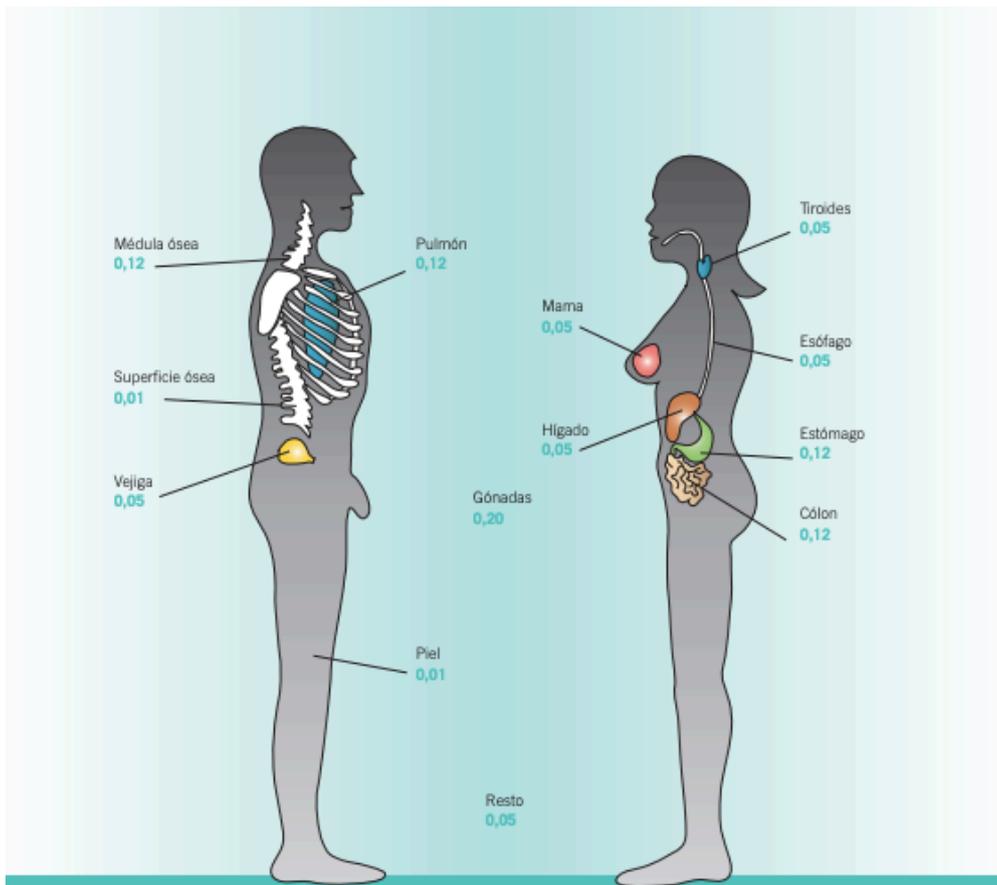


Ilustración 7. Valores del factor de ponderación en el cuerpo humano. Fuente: Consejo Seguridad Nuclear

- Dosis efectiva: es la suma ponderada de las distintas dosis equivalentes de los tejidos provenientes de radiaciones tanto externas como internas. Se mide en Sievert (Sv). Su expresión es la siguiente:

$$E = \sum_T (W_T \times H_T)$$

Una vez definidos tanto las unidades como los tipos de dosis, se puede delimitar la dosis recibida por el trabajador. Estas dosis límite están regladas mediante el 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 en su capítulo III, artículo 11. Se aplican los siguientes límites, teniendo en cuenta que los trabajadores expuestos tendrán un límite de dosis efectiva de 20 mSv por año oficial.

Tabla 2. Límite dosis para trabajadores expuestos

<i>Tejido corporal</i>	<i>Límite dosis eq/año (mSv)</i>	<i>Límite dosis máx/5 años (mSv)</i>
Cristalino	100	50
Piel	500	
Extremidad	500	

Hay que prestar especial atención a las trabajadoras expuestas que estén embarazadas o en periodo de lactancia. Para las que estén embarazadas, el límite de dosis equivalente será de 1 mSv desde la comunicación del estado de la misma hasta el final de su embarazo. Por otro lado, las mujeres que se encuentren en periodo de lactancia, desde el momento en el que informen de su situación, no se le podrán asignar trabajos en los que esté expuesta a contaminación radiactiva. [18]

10.3. Clasificación de zonas

Tras realizar la evaluación previa en la zona de diagnóstico por imagen, se clasificará la zona de trabajo en función de la exposición a la radiación. Por otro lado, también se identificarán los lugares en los que pueda haber dosis de radiación superiores a los valores límite y se establecerán las personas autorizadas a entrar en dichas zonas. También se asignarán los equipos de protección adecuados para las diversas zonas expuestas a radiación.

10.3.1. Zona controlada

Para calificar una zona como controlada, se deberán cumplir cualquier condición de las siguientes:

- Un trabajador pueda estar expuesto a dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial
- Se tengan que realizar procedimientos para restringir la exposición a radiación ionizante para poder así evitar la posible dispersión de contaminación radiactiva

Estas zonas controladas, se pueden dividir en las siguientes:

- Zona de permanencia limitada: puede haber riesgo de superar las dosis vistas en el apartado anterior (las que dicta el R.D. 1029/2022 en su artículo 11)
- Zona de permanencia reglamentada: se pueden superar durante periodos cortos de tiempo, las dosis límite expuestas en el apartado anterior (R.D.

1029/2022 en su artículo 11)

- Zonas de acceso prohibido: se pueden superar en muy cortos periodos de tiempo, las dosis límite expuestas en el apartado anterior (R.D. 1029/2022 en su artículo 11)

10.3.2. Zona vigilada

Esta zona se delimitará cuando haya la posibilidad de superar una dosis efectiva por año oficial de 1 mSv.

10.4. Señalización

Las zonas con riesgo de radiación deberán estar correctamente señalizadas. El símbolo para el peligro por radiación es un trébol. La señal es rectangular. Dependiendo de si el riesgo es por radiación externa o por contaminación, la señal será de una u otra forma. [19]

10.4.1. Peligro por radiación externa

En estas señales, el trébol estará rodeado de puntas radiales, tal que así:



Ilustración 8. Señal peligro por radiación externa. Fuente: PRLaborales

10.4.2. Peligro por contaminación

En cambio, en estas señales, el trébol se encontrará en la señal sin esas puntas radiales, pero el fondo de la señal no será blanco, sino que estará punteado de la siguiente manera:



Ilustración 9. Señal de peligro por contaminación. Fuente: PRLaborales

Como se observa en las señales, el color también es algo identificativo para cada riesgo.

10.4.3. Identificación de colores en la señalización

Se dispone de cinco señales diferentes para identificar el peligro por radiación en las zonas comentadas anteriormente:

- Zona controlada: el trébol será verde y el fondo de la señal será blanco
- Zona de permanencia limitada: el trébol será amarillo y el fondo de la señal será blanco
- Zona de permanencia reglamentada: el trébol será naranja y el fondo de la señal será blanco
- Zona de acceso prohibido: el trébol será rojo y el fondo de la señal será blanco
- Zona vigilada: el trébol será gris y el fondo de la señal será blanco.

Tabla 3. Señales de peligro por radiación por zonas

Zona	Color Trébol	Radiación ($\mu\text{Sv/h}$)
Vigilada	Gris	0,5-3
Controlada	Verde	3-25
Permanencia limitada	Amarillo	25-1000
Permanencia reglamentada	Naranja	1000-100000
Acceso prohibido	Rojo	>100000

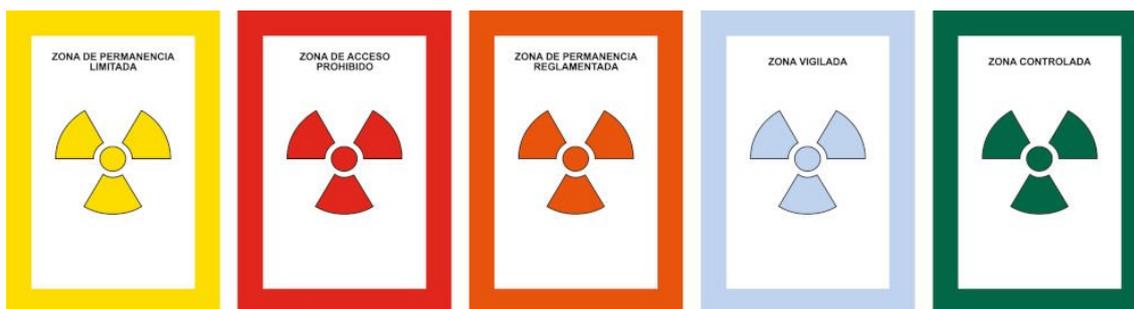


Ilustración 10. Muestra de colores de las señales de peligro por radiación

10.5. Clasificación del personal

Los trabajadores del área de diagnóstico por imagen estarán divididos en estas dos categorías:

Tabla 4. Categoría de los trabajadores

Categoría	Dosis efectiva año oficial (mSv)	Dosis equivalente (mSv)
A	>6	>3/10 valores límite ¹
B	<6	<3/10 valores límite

Para que un trabajador pertenezca a la categoría A debe cumplir:

- Haber superado un reconocimiento médico para ingresar a la categoría y acudir a los respectivos reconocimientos periódicos.
- Haber recibido la correspondiente formación en protección radiológica.
- Estará obligado a portar consigo un dosímetro individual para que pueda medir la dosis externa cuando se enfrente a trabajos con dicho peligro.
- Estará obligado a portar un dosímetro adecuado en caso de estar expuesto a una exposición parcial del organismo.
- En caso de tener riesgo de contaminación interna, estará obligado a someterse a controles dosimétricos para medir dicha radiación.

En cambio, para que un trabajador pertenezca a la categoría B, debe cumplir:

- Estará obligado a superar el reconocimiento médico una vez ingrese en la categoría.
- Deberá haberse formado en protección radiológica.
- Estará sometido a vigilancia dosimétrica que permita a los técnicos garantizar que la dosis que reciba el trabajador sea adecuada a su categoría.

¹ Los valores límite serán los especificados en la Tabla 2

Todos los trabajadores del área de diagnóstico por imagen deberán haber pasado un examen médico individual previo a su incorporación al área y deberán disponer de un historial dosimétrico individual.

En caso de los trabajadores de la categoría A, en ese control dosimétrico estarán las medidas de:

- Dosis mensuales.
- Dosis acumuladas por año oficial.
- Dosis acumuladas durante periodos de cinco años oficiales consecutivos.

En el caso de trabajadores de la categoría B bastará con que en dicho control dosimétrico se encuentren las medidas de las dosis estimadas para esa área de diagnóstico por imagen.

10.6. Medidas de protección colectivas

Como cita el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, hay que anteponer la protección colectiva frente a la individual. Por ello mismo, se implantan en el área de diagnóstico por imagen las siguientes medidas de protección colectiva frente a las radiaciones ionizantes:

- Señalización: por medio de alertas visuales como las vistas en el apartado de Señalización de este proyecto, se señalarán las zonas con peligro de exposición a radiaciones ionizantes.
- A parte de la reglamentada señalización, se alertará tanto a los trabajadores de dicha área, a los trabajadores de otras áreas que puedan acceder allí y a los pacientes mediante carteles en los pasillos. Estos carteles también alertarán a posibles mujeres embarazadas que tengan que entrar en el área, bien como trabajadoras o bien como pacientes.



Ilustración 11. Cartel alerta radiaciones ionizantes



Ilustración 12. Cartel alerta para embarazadas. Fuente: Pacientera Biología

- Formación rutinaria en el área de prevención de riesgos laborales frente a las radiaciones ionizantes. Se elaborarán cursos de prevención y se permitirá a los trabajadores aportar ideas para mejorar la protección tanto colectiva como

individual.

- Rotación del personal en los equipos de radiodiagnóstico.
- Instalación de mamparas de protección.
- Forraje de las salas de radiodiagnóstico con plomo.

10.7. Equipos de protección individual

Las protecciones más efectivas frente a las radiaciones ionizantes son:

- Minimizar el tiempo de exposición: el trabajador tendrá que planear las tareas con antelación para reducir el tiempo de estancia en las áreas en las que exista radiación.
- Maximizar la distancia: una muy buena práctica es aumentar la distancia frente a la fuente de radiación, ya que duplicar la distancia hará que la dosis de radiación recibida descienda la cuarta parte.
- Maximizar el blindaje: el blindaje será aquel material que sea capaz de absorber la máxima radiación posible. El plomo es el principal elemento que se utiliza como barrera frente a la radiación. Las salas en las que hay equipos que contengan tubo de rayos X se suelen forrar de plomo y se suelen construir con ladrillos de materiales como la barita, materiales absorbentes de esa radiación.

Los elementos de protección individual son: [20]

- Delantales de protección
- Collares para la tiroides
- Guantes
- Manoplas
- Gafas

Los delantales o batas de protección son los elementos más utilizados. Un gran inconveniente de estos es su peso por el alto contenido en plomo que contienen. También son materiales que se pueden romper con facilidad y pueden perder esa capacidad de protección que albergan.



Ilustración 13. Delantales de plomo. Fuente: OG Ingeniería médica

Son también muy importantes aunque menos utilizados los guantes, manoplas y gafas plomados.



Ilustración 14. Gafas plomadas. Fuente: Centro óptico y Auditivo Prisma



Ilustración 15. Guantes plomados. Fuente: protección radiológica

11. Vigilancia de la radiación

Para poder llevar una correcta vigilancia, se tendrá que comprobar periódicamente que las dosis de radiación no superen los valores límite específicos para cada zona del área de radiación. Se tendrá que comprobar tanto la dosimetría de área como la dosimetría personal. [21]

11.1. Dosimetría de área

- Vigilancia de rutina: esta vigilancia se hará para asegurarse de que el trabajo diario, el rutinario, no excede los valores límite asociados.
- Vigilancia operacional: esta vigilancia se realizará cuando algún trabajo salga de la monotonía del trabajo del personal, y sea una actividad especial.
- Vigilancia especial: se aplicará cuando no exista la información suficiente, por ejemplo, la adquisición por parte del área de algún equipo radiológico nuevo, o se abra una nueva sala dentro del área.

Para medir la dosimetría de área se usarán contadores Geiger. Son más sensibles que otros tipos de detectores de radiación en el área ya que son capaces de detectar niveles de radiación muy bajos. En el tubo del contador Geiger se encuentra un gas inerte, como puede ser el Neón o el Argón. Dependiendo del gas inerte que se tenga en el contador Geiger se podrán medir distintos rangos de radiación. Los electrones de la radiación ionizante, al tener mucha cantidad de energía provocan que se produzca un arco eléctrico dentro del tubo del contador. Los átomos del gas inerte permiten que pase energía eléctrica entre ellos y el contador será quien mida ese flujo de electricidad. El servicio de prevención de riesgos laborales será quien se encargue de medir esa radiación utilizando el contador Geiger disponible en el área de radiación del hospital. [22]



Ilustración 16. Contador Geiger

11.2. Evaluación de la exposición en trabajadores expuestos

11.2.1. Determinación de la dosis por radiación externa

Al tener categorizados los trabajadores en personal de categoría A y de categoría B, la determinación de la dosis por irradiación externa será distinta para ambos. Lo que sí es común en las dos categorías, es la manipulación de las mediciones de los trabajadores, que estarán a cargo del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del hospital. La dosimetría personal de cada trabajador del área se realizará por el servicio de dosimetría personal que estará autorizado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

- Categoría A: las dosis de cada trabajador por radiación externa se medirán cada mes, como mínimo, utilizando dosímetros personales.
- Categoría B: se estimará la dosis de estos trabajadores utilizando los datos de la dosimetría de área de las zonas de trabajo.

11.2.2. Determinación de la dosis por radiación interna

Si se produce contaminación interna se medirá con la frecuencia acorde al periodo efectivo de la contaminación radiactiva a la que se haya visto expuesto. Estos controles los deberá realizar el servicio de dosimetría autorizado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Será el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales quien diga qué trabajadores están expuestos a sufrir esta radiación interna y deberá someter a esos trabajadores a controles rutinarios de contaminación interna. Para realizar esta selección se tendrá en cuenta:

- El puesto laboral.
- El material radiactivo que manipula debido a su puesto laboral.
- Los resultados de la dosimetría de área.
- Las incidencias o accidentes ocurridos en el área.

Cuando se superen los límites de dosis, por cualquier problema o exposición a radiación accidental, se hará un estudio en profundidad con la mayor celeridad posible, para medir las dosis recibidas en el trabajador expuesto, en todo su organismo. Este estudio deberá ponerse en conocimiento del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y del trabajador expuesto. También se deberán estudiar las causas, y se deberá separar al trabajador de su puesto de trabajo, para estudiar si el

trabajador expuesto puede seguir trabajando con esa radiación ionizante aún en su organismo, y para ver si el problema que ha causado esa sobreexposición ha sido solucionada o no.

11.2.3. Dosimetría personal

El uso de dosímetros personales de radiaciones es obligatorio para cualquier persona expuesta por su ocupación laboral. Estos dosímetros son detectores de radiaciones ionizantes que tienen como objetivo llevar un control de las dosis recibidas por el trabajador expuesto durante un periodo de tiempo determinado. La información de este control de medidas de las radiaciones a las que está expuesto el trabajador son vitales para determinar si la dosis que recibe supera o no los límites establecidos por la legislación. Como los límites establecidos son muy restrictivos, por medio de estos controles de dosis se puede llevar una vigilancia epidemiológica del personal muy exhaustiva. [23] [24] [22]

Según su tamaño y forma, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Dosímetro de pluma: en la pantalla LED del mismo existe una escala en la que se puede hacer la lectura por medio de un indicador.



Ilustración 17. Dosímetro de pluma. Fuente: Twilight

- Dosímetro de película: se medirá la radiación mediante una película que se ennegrecerá en diferentes campos de filtro.



Ilustración 18. Dosímetro de película. Fuente: Alamy

- Dosímetro de termoluminiscencia: se calcula la dosis de radiación mediante la intensidad de la luz emitida por los rayos X.



Ilustración 19. Dosímetro de luminiscencia. Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

- Dosímetro digital: mide la dosis de radiación mediante sensores electrónicos y la

proyecta en una pantalla digital.



Ilustración 20. Dosímetro digital. Fuente: Medical Expo

De acuerdo con la zona en la que el trabajador expuesto vaya a recibir la radiación, se colocará el dosímetro de acuerdo con ello. Existen los siguientes dosímetros:

- Dosímetro de muñeca.
- Dosímetro de anillo.
- Dosímetro de tobillo.
- Dosímetro de abdomen.

Lo más habitual en el área de radiación es que los trabajadores se pongan el dosímetro de solapa, como se observa en la ilustración 20.

Algunas recomendaciones para el uso correcto de los dosímetros personales son las siguientes:

- El dosímetro de solapa debe mantenerse alejando, cuando no se use, de las fuentes de radiación.
- Si se utiliza el delantal plomado, el dosímetro de solapa se colocará debajo del delantal.
- Cuando exista riesgo de que algunas partes del cuerpo vayan a ser expuestas a más radiación que otras, se utilizarán dosímetros adicionales:

- Dosímetro de muñeca cuando exista riesgo de recibir radiación en las manos.
- Dosímetro de hombro: cuando el trabajador esté expuesto a radiaciones en el cristalino.
- El dosímetro personal será de uso exclusivo de cada trabajador y solo podrá ser utilizado en el centro al que esté asociado.
- No se puede abrir el dosímetro para evitar lecturas que no sean correctas. En caso de que el dosímetro tenga algún daño, se debe avisar al responsable de área.
- Cada mes, el dosímetro se enviará para su lectura. Esa lectura será añadida al historial dosimétrico de cada trabajador.
- Si el trabajador se somete a alguna prueba radiológica, se deberá quitar el dosímetro personal.

Podemos resumir la vigilancia de la radiación mediante la siguiente tabla:

Tabla 5. Vigilancia de la radiación. Fuente: Universidad Complutense de Madrid

Posibilidad de exposición	1 mSv < Dosis anual < 6 mSv	Dosis anual > 6 mSv
Clasificación de trabajadores	B	A
Clasificación de zonas	Vigilada	Controlada
Vigilancia ambiente de trabajo	Si. Mediante dosimetría de área	Si. EPI y detectores de radiación obligatorios
Vigilancia individual	No	Si. Mediante dosimetría personal
Vigilancia de la salud	Opcional	Obligatoria. Inicial y anual
Nota: Por debajo de una dosis anual de 1mSv no se considera que haya exposición a RI		

11.2.4. Historial dosimétrico

Mediante las mediciones elaboradas por el dosímetro personal de cada trabajador expuesto, se realizará el historial dosimétrico de cada uno. Se deberá actualizar y que siempre esté a disposición para consulta.

El historial dosimétrico de los trabajadores de la categoría A se insertarán en su historial médico. Contendrá las dosis acumuladas de cada año oficial y las acumuladas de los anteriores 5 años oficiales.

Para los trabajadores de categoría B, se hará un registro de las dosis anuales estimadas.

11.3. Vigilancia y control de material radiactivo y residuos

En todas las prácticas dentro del ámbito laboral en las que se utilice material que pueda

estar contaminado por radiación, se deberá llevar un control tanto de su puesta en servicio como de su retirada. También, tendrá que tener un almacenamiento de los residuos radiactivos en recipientes correctamente señalizados que garanticen la protección suficiente contra las radiaciones ionizantes de su interior, para que no pueda haber cualquier fuga fortuita.



Ilustración 21. Contenedor residuos radiactivos. Fuente: Medical Expo

El responsable del área, llevará a cabo un registro para cada recipiente de material radiactivo. Ese informe contendrá datos relevantes del contenido del contenedor, como la actividad del material, la fecha de su depósito en el contenedor, el material que se encuentra dentro y más datos fisicoquímicos del material.

12. Formación e información en protección radiológica

Siguiendo el artículo 18 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, los trabajadores serán consultados e informados de todos los aspectos relacionados con la seguridad y salud en sus puestos de trabajo. Por esta razón, los trabajadores participarán de la elección de equipos individuales de protección. También podrán realizar propuestas a los responsables de área con el fin de mejorar la seguridad y salud en el lugar de trabajo. [25]

A su vez, el empresario otorgará la formación necesaria en el ámbito de seguridad y salud en el trabajo, siendo esta de carácter teórico y práctico, según lo citado en el artículo 19 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Esta formación será de carácter obligatorio y se impartirá en horario laboral. [25] [26]

La elección de los cursos a realizar será por parte de los responsables del área. Se consultará tanto a los organismos autonómicos, estatales como al propio Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) para la realización de los cursos y las ofertas de estos disponibles. [1] [27]

El programa de formación deberá incluir cursos de reciclaje donde se incorporará formación relativa a:

- Revisiones de procedimientos o normativa, si la hubiese.
- Nuevos equipos adquiridos por el área.
- Incidentes en el área sobre aspectos de protección radiológica.

13. Evaluación de riesgo

A continuación se evaluará el riesgo de que se produzca una irradiación externa no controlada en alguno de los equipos del área de radiación, por algún problema técnico. Para esta evaluación, se utilizará el método que proporciona el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). En este método, a través de una matriz se evaluará el riesgo definido anteriormente. Para realizar la evaluación, primero se definirán algunos conceptos: [28] [29]

13.1. Probabilidad del riesgo

- Baja: es muy poco probable que se produzca daño.
- Media: el daño ocurrirá en algunas ocasiones.
- Alta: el daño ocurrirá siempre o casi siempre.

13.2. Consecuencias del daño

- Ligeramente dañina: daños superficiales como pueden ser cortes, magulladuras o simples molestias.
- Dañina: laceraciones, quemaduras o enfermedades que conduzcan a una incapacidad menor.
- Extremadamente dañinas: amputaciones, fracturas mayores, enfermedades graves o lesiones fatales.

13.3. Niveles de riesgo

- Trivial: no requiere ninguna acción específica a realizar.
- Tolerable: no será necesario mejorar la acción preventiva. Si que será necesario considerar otras soluciones o mejoras que no tengan un gran coste para la empresa. Se deberán hacer comprobaciones para así poder asegurarse que se mantienen todas las medidas de control.
- Moderado: se deberán llevar a cabo esfuerzos para reducir el riesgo a un nivel inferior determinando el coste de las medidas que se apliquen. Habrá que implementar esas medidas en un tiempo fijado por la acción preventiva a ejecutar.
- Importante: estará prohibido comenzar el trabajo hasta que el riesgo se vea reducido. No se tendrá en cuenta el importe de las medidas a implantar, ya que el riesgo deberá reducirse. Si se detecta el riesgo en la jornada laboral, el problema deberá solucionarse en un tiempo menor que los riesgos moderados.
- Intolerable: estará prohibido comenzar y continuar con el trabajo. Si es imposible reducir el riesgo, se prohibirá ese trabajo.

Ahora que han sido definidos los conceptos anteriores, se procederá a evaluar el riesgo siguiendo la matriz de riesgo proporcionada por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Se considera la probabilidad de que se produzca una irradiación externa en algún equipo del área de radiación como **baja**. Se considera así ya que el técnico siempre operará con los equipos utilizando los equipos de protección vistos anteriormente. Además, los límites de dosis de radiación externa descritos en el R.D. 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 son unos límites muy restrictivos.

Se considera que las consecuencias de esa sobreexposición a radiación son **extremadamente dañinas**. Se considera así ya que puede tener unas consecuencias muy graves para la salud del técnico. Los efectos que puede ocasionarle esta sobreexposición son:

- Efectos agudos: náuseas, vómitos, fatiga, pérdida de cabello y posibles daños en la médula ósea. Estos efectos pueden manifestarse en las primeras horas posteriores a la exposición o más adelante.
- Efectos crónicos a largo plazo: si el técnico se expone a dosis no muy altas de radiación pero durante mucho tiempo, puede aumentar el riesgo de desarrollar cáncer, enfermedades del sistema cardiovascular y trastornos genéticos. Estos efectos pueden tardar hasta años en manifestarse.

Ahora, utilizando la matriz se podrá calcular el nivel de riesgo del técnico, que será moderado:

Tabla 6. Matriz de riesgo

NIVEL DE RIESGO		CONSECUENCIAS		
		LIGERAMENTE DAÑINO	DAÑINO	EXTREMADAMENTE DAÑINO
PROBABILIDAD	BAJA	TRIVIAL	TOLERABLE	MODERADO
	MEDIA	TOLERABLE	MODERADO	IMPORTANTE
	ALTA	MODERADO	IMPORTANTE	INTOLERABLE

14. Procedimientos de emergencias

En las áreas médicas que utilicen radiaciones ionizantes, se establecerán unos planes de emergencia que constarán con todas las actuaciones a desarrollar en caso de que se produzca un incremento del riesgo radiológico para los trabajadores o para el público en

general.

14.1. Accidentes e incidentes

Un accidente será aquel suceso que no estando planificado consiga superar las dosis reglamentadas. Un incidente es aquel suceso en el que se superen las dosis reglamentadas pero haya una probabilidad de antemano. La consecuencia de que ocurra cualquiera de los dos serán las situaciones de emergencia.

Ante cualquier incidencia detectada en el área que afecte las condiciones de seguridad radiológica de la instalación, la persona que lo detecte deberá informar al supervisor que será quien se encargue de realizar la primera valoración de la situación. Se informará al Servicio de Prevención de Riesgos y al Consejo de Seguridad Nuclear. Todos estos posibles accidentes y/o incidentes, deberán quedar registrados en la memoria anual que se mandará al Consejo de Seguridad Nuclear.

14.2. Posibles emergencias en el área de radiodiagnóstico

- Posible fallo del disparador.
- Fallo en el sistema eléctrico de alimentación.
- Posible sobreexposición por “doble disparo”.
- Falta de mantenimiento que exponga a paciente y técnico a una sobreexposición.
- Falta de información y formación de los trabajadores.

14.3. Actuaciones ante emergencias

Las emergencias en un hospital requieren de acciones rápidas y efectivas para garantizar la seguridad tanto de pacientes como de trabajadores. Las actuaciones que se llevarán a cabo serán:

- Activar el código de emergencias para que todos los trabajadores sepan que están frente a una.
- Evaluar la situación, determinando si la emergencia es un incendio, una inundación... También habrá que definir el sitio exacto donde ha ocurrido la emergencia.
- Notificar a las autoridades competentes.

- Realizar una evacuación segura del edificio.
- Brindar atención médica inmediata si se requiere.
- Comunicación interna y externa tanto entre los trabajadores como de los trabajadores con el exterior.

14.4. Plan de evacuación

El área de radiodiagnóstico deberá contar con un plano de evacuación por todos los pasillos por si se necesitase.



Ilustración 22 Ejemplo de plano de evacuación. Fuente: Seguridad Industrial y Ciudadana

En el plano de evacuación o en un cartel aparte, deberán estar todos los números de emergencias posibles (policía, bomberos y emergencias).

Ahora,
somos
el



Llámanos.
Respuesta inmediata
24 h / 365 días



Ilustración 23. Ejemplo cartel de emergencias. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona

Con frecuencia, los trabajadores deberán hacer simulacros de emergencias, para reducir al mínimo posible el daño si esa emergencia ocurriese en la realidad. Algunas normas para la realización de simulacros en el entorno hospitalario son:

- Planificar el simulacro, de forma que este incluya el escenario de emergencia, los objetivos de su realización, las tareas que se asignen a cada trabajador, la duración del simulacro y los recursos que utilizarán en el mismo.
- Comunicar a los trabajadores de la realización del simulacro con anticipación. Se deberá informar a la totalidad de los trabajadores.
- Crear un escenario realista para poder simular en condiciones lo más parecidas a la realidad posible.
- Establecer unos objetivos específicos. Algunos de ellos pueden ser:
 - o Evaluar los tiempos de respuesta del personal.
 - o Coordinar la respuesta ante la emergencia de los equipos.
 - o Coordinar la comunicación tanto interna como externa.
 - o Verificar que se hace un uso adecuado de los equipos.
 - o Verificar que se cumplen los protocolos de seguridad.
- Designar roles a los trabajadores en función de su ubicación en el área hospitalaria o en función de equipos de trabajo, de manera que todos sepan cuál es su función en el simulacro ante posibles emergencias futuras.
- Realizar una evaluación del simulacro, una vez este finalice, para poder identificar

correctamente las actuaciones bien realizadas de aquellas que puedan mejorarse.

- Informar a los trabajadores sobre la evaluación, para que sean partícipes de todo el proceso del simulacro.

Es importante que los simulacros, una vez se vayan ejecutando, se implementen mejoras continuas, para poder reducir al mínimo los posibles riesgos de una emergencia.

15. Conclusiones

A la finalización de la realización de este trabajo, he comprendido la importancia de disponer en cada puesto de trabajo de un plan de prevención. He alcanzado las siguientes conclusiones:

1. La elaboración de un plan de prevención para cada puesto laboral es prioritario y obligatorio para la protección de los trabajadores. Además, realizar un estudio detallado del mismo, reduce en gran medida el riesgo al que estará expuesto el trabajador.
2. Las radiaciones ionizantes derivadas del área de radiodiagnóstico están muy controladas gracias a las directrices indicadas por el Consejo de Seguridad Nuclear, que fija las dosis máximas que puede recibir cada trabajador en su puesto de trabajo.
3. Es muy importante que el trabajador sepa los riesgos a los que está expuesto en su trabajo y más en este caso, ya que la radiación ionizante no se puede percibir, a diferencia de otros agentes físicos como el ruido, las vibraciones o el estrés térmico.
4. El mantenimiento de los equipos y el control de los mismos puede llegar a ser vital en determinados puestos de trabajo para reducir al mínimo la probabilidad de que ocurra un accidente.

REFERENCIAS

- [1] «Detección y dosimetría de la radiación».
Disponible en:
https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/537701088_2411200913237.pdf
- [2] «Contenido de los manuales de protección radiológica de instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear».
Disponible en: [https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS%2007-06%20Revisi%C3%B3n%201%20-%20Contenido%20de%20los%20manuales%20de%20protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica%20de%20instalaciones%20nucleares%20e%20instalaciones%20radiactivas%20del%20ciclo%20del%20combustible%20nuclear%20\(Abril%202016\)](https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS%2007-06%20Revisi%C3%B3n%201%20-%20Contenido%20de%20los%20manuales%20de%20protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica%20de%20instalaciones%20nucleares%20e%20instalaciones%20radiactivas%20del%20ciclo%20del%20combustible%20nuclear%20(Abril%202016))
- [3] «La protección radiológica en el medio sanitario».
Disponible en:
<https://www.csn.es/documents/10182/914805/La+protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+en+el+medio+sanitario>
- [4] «Radiodiagnóstico | Complejo Asistencial Universitario de León».
<https://www.saludcastillayleon.es/CHLeon/es/carteraservicios/servicios-centrales/radiodiagnostico>
- [5] «Equipo de Rayos X - YouTube».
https://www.youtube.com/watch?v=PL1JzLl6Uys&ab_channel=HenryRx
- [6] GEMA Centres Mèdics, «Gabinete de Diagnóstico por la Imagen - gemasl ESP».
<https://www.gemasl.com/es/pruebas-diagnosticas/densimetria/>
- [7] «Equipos de tomografía computerizada (TAC)».
Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6375.pdf>

- [8] «Tomografía Computarizada (TC)».
<https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/tomograf%C3%ADa-computarizada-tc>
- [9] «La unidad de mama incorpora un mamógrafo 3D de última generación | Clínica Corachan».
https://www.corachan.com/es/la-unidad-de-mama-incorpora-un-mamografo-3d-de-ultima-generacion_96661
- [10] «Learn About the Two Main Types of Mammograms».
<https://www.breastcancer.org/es/pruebas-deteccion/mamografias/tipos>
- [11] Grupo Gamma, «Angiógrafo: Excelencia en alta complejidad».
<https://www.grupogamma.com/angiografo-excelencia-alta-complejidad/>
- [12] Clínica Toledo, «Densitometría ósea».
<https://clinicatoledo.es/index.php/densitometro-densitometria-osea-toledo>
- [13] «12_Manual_general_de_proteccion_radiologica.pdf».
Disponible en:
http://www.ffis.es/ups/ResponsabilidadGrupal/12_Manual_general_de_proteccion_radiologica.pdf
- [14] «Manual general de proteccion radiologica».
Disponible en:
<https://www.sergas.es/Saudepublica/Documents/2959/Manual%20general%20de%20proteccion%20radiologica.pdf>
- [15] «Inicio - CSN».
<https://www.csn.es/home>
- [16] «Normativa nacional de Riesgos físicos: Radiaciones».
<https://www.insst.es/normativa/riesgos-fisicos/radiaciones>

- [17] LANENT, «Magnitudes y unidades radiológicas».
- [18] «Dosis de radiación».
Disponible en:
<https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiaci%C3%B3n>
- [19] J. Fernández Granados, «▷ Señalización en zonas con riesgos de radiación ionizante».
<https://prlaborales.com/senalizacion-zonas-riesgos-radiacion/>
- [20] «Petroni-Estudio de EPI's textiles contra la radiación ionizante».
Disponible en:
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/159734/Petroni%20-%20Estudio%20de%20EPI%27s%20textiles%20contra%20la%20radiaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [21] «Normas de trabajo seguro trabajadores expuestos a radiación ionizante».
Disponible en:
https://sanidad.castillalamancha.es/sites/sescam.castillalamancha.es/files/documentos/pdf/20131015/26_-_normas_de_trabajo_seguro_-_trabajadores_expuestos_a_radiac_ionizantes_ii.pdf
- [22] «¿Qué es un dosímetro y qué tipos de dosímetros hay? - Centro de Estudios Santa Gema».
<https://www.fp-santagema.es/tipos-de-dosímetros/>
- [23] «Normas básicas uso dosímetro personal».
Disponible en:
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/1151-2017-05-09-normas%20b%C3%A1sicas%20uso%20dosimetro%20personal.pdf>
- [24] «¿Qué es el Dosímetro Personal? - IPR / Instituto de Protección Radiológica e Ingeniería en Prevención de Riesgos».
<https://www.iprltda.cl/noticias/que-es-el-dosimetro-personal/>

[25] BOE-A-1995-24292, *Ley de 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales*.

Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>

[26] Ciemat, «Cursos Formación Abierta».

<https://www.ciemat.es/formacion>

[27] CSN, «Cursos homologados por el CSN - CSN».

<https://www.csn.es/proteccion-radiologica/diplomas-licencias-y-acreditaciones/cursos-homologados-por-el-csn>

[28] «Evaluación de riesgos laborales».

Disponible en:

https://www.insst.es/documents/94886/96076/Evaluacion_riesgos.pdf/1371c8cb-7321-48c0-880b-611f6f380c1d

[29] «Método de Evaluación General de Riesgos del INSHT».

<https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/metodo-de-evaluacion-general-de-riesgos-del-insht/>