



Comisión
Europea

Guía no vinculante
de buenas prácticas
para la aplicación
de la Directiva 2013/35/UE

sobre campos electromagnéticos

Volumen 1: Guía práctica

La presente publicación ha contado con el apoyo financiero del Programa de la Unión Europea para el Empleo y la Innovación Social «EaSI» (2014-2020).

Para obtener más información sobre dicho Programa, se ruega consultar la dirección siguiente:
<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1081&langId=es>

Guía no vinculante
de buenas prácticas
para la aplicación
de la Directiva 2013/35/UE

sobre campos electromagnéticos

Volumen 1: Guía práctica

Comisión Europea
Dirección General
de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión
Unidad B3

Manuscrito finalizado en noviembre de 2014

Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre podrán considerarse responsables del uso que pudiera hacerse de la información contenida en la presente publicación.

Los enlaces que recoge la presente publicación eran válidos en el momento en que se finalizó el manuscrito.

© Fotografía de la cubierta: corbis

Cualquier uso o reproducción de fotografías que no estén sujetas a los derechos de autor de la Unión Europea requerirá la autorización directa del titular o titulares de los derechos de autor.

Europe Direct es un servicio que le ayudará a encontrar respuestas a sus preguntas sobre la Unión Europea

Número de teléfono gratuito (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Tanto la información como la mayoría de las llamadas (excepto desde algunos operadores, cabinas u hoteles) son gratuitas.

Más información sobre la Unión Europea, en el servidor Europa (<http://europa.eu>).

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2015

ISBN 978-92-79-45872-9

doi:10.2767/626645

© Unión Europea, 2015

Reproducción autorizada, con indicación de la fuente bibliográfica.

RESUMEN

Se ha elaborado una guía práctica para ayudar a los empresarios, sobre todo a las pequeñas y medianas empresas, a comprender las disposiciones que deben cumplir con arreglo a la Directiva CEM (2013/35/UE). En la Unión Europea, el régimen general para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores está establecido en la Directiva marco (89/391/CEE). Básicamente, la Directiva CEM aporta detalles adicionales sobre el modo de cumplir los objetivos de la Directiva marco en la situación concreta del trabajo con campos electromagnéticos.

Buena parte de las actividades llevadas a cabo en los lugares de trabajo modernos genera campos electromagnéticos, incluido el uso de los equipos eléctricos y de muchos dispositivos de comunicaciones corrientes. Sin embargo, en la mayoría de los lugares de trabajo los niveles de exposición son muy bajos y no dan lugar a riesgos para los trabajadores. Incluso aunque se generen campos fuertes, suelen reducirse rápidamente con la distancia, de manera que, si los trabajadores no tienen que acercarse a los equipos, no existirá riesgo. Además, puesto que los campos se generan en su mayoría eléctricamente, desaparecen en el momento en que se desconecta la corriente.

Los riesgos para los trabajadores pueden derivarse tanto de los efectos directos del campo en el cuerpo como de los efectos indirectos que se derivan de la presencia de objetos en el campo. Los efectos directos pueden ser de índole no térmica o térmica. Ciertos trabajadores pueden exponerse a riesgos particulares ligados a los campos electromagnéticos. Entre ellos se incluyen los que llevan dispositivos médicos implantados activos, los que llevan dispositivos médicos pasivos, los que llevan dispositivos médicos en el cuerpo y las trabajadoras embarazadas.

Para ayudar a los empresarios a llevar a cabo una evaluación inicial de su lugar de trabajo, la guía presenta un cuadro de situaciones de trabajo comunes. Tres columnas indican las situaciones que precisan de evaluaciones específicas para los trabajadores con implantes activos, para los demás trabajadores con riesgos particulares y para el conjunto de los trabajadores. Este cuadro ha de servir de ayuda a la mayoría de los empresarios para determinar la inexistencia de riesgos de CEM en sus lugares de trabajo.

Incluso en el caso de los trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos, por lo general bastará con garantizar que sigan unas instrucciones sensatas que les facilite el equipo médico responsable de su asistencia. Se facilita un apéndice que ayudará a los empresarios que tengan que evaluar el riesgo de los trabajadores con riesgos particulares.

La última columna del cuadro identifica las situaciones de trabajo que está previsto que generen campos intensos, para las cuales será necesario, por lo general, que los empresarios sigan un procedimiento de evaluación más detallado. Con frecuencia, los campos solo presentarán riesgo para los trabajadores con riesgos particulares, aunque en ciertos casos pueden darse riesgos de efectos directos o indirectos de CEM para todos los trabajadores. En estos casos, el empresario deberá considerar la conveniencia de adoptar medidas de protección o prevención adicionales.

La guía práctica ofrece asesoramiento para la realización de una evaluación de los riesgos que ha de ser coherente con una serie de procedimientos de evaluación generalizados, entre los que se incluye la herramienta OiRA que facilita la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo.

En el marco del proceso de evaluación de riesgos, en ocasiones puede ser necesario que los empresarios comparen información sobre los campos presentes en el lugar de trabajo con los valores límite de exposición y los niveles de actuación especificados en

la Directiva CEM. En caso de que los campos en el lugar de trabajo sean débiles, tales comparaciones no serán, por lo general, necesarias y la guía aconseja a los empresarios, en lugar de ello, basarse en información genérica como la de los cuadros mencionados anteriormente.

En caso de que sí haya que efectuar comparaciones con los valores límite de exposición o los niveles de actuación, se alienta a los empresarios a que recurran a la información disponible a través de fabricantes o bases de datos y a que eviten llevar a cabo sus propias evaluaciones en tanto sea posible. Para los empresarios que tengan que llevar a cabo sus propias evaluaciones, la guía facilita asesoramiento sobre los métodos correspondientes y orienta sobre cuestiones específicas, como la gestión de los campos no uniformes, la suma de campos de frecuencias múltiples y la aplicación del método de ponderación de picos.

En caso de que los empresarios tengan que adoptar medidas de protección o prevención adicionales, la guía ofrece asesoramiento sobre las opciones que puede haber disponibles. Es importante destacar que no existe una única solución a todos los riesgos CEM, por lo que los empresarios deben considerar todas las opciones disponibles, de manera que elijan la más adecuada para su situación.

Hace tiempo que se reconoce que el uso de la tomografía por resonancia magnética en la asistencia sanitaria puede dar lugar a unos niveles de exposición de los trabajadores que superen los valores límite de exposición especificados en la Directiva CEM. La tomografía por resonancia magnética es una importante tecnología médica, esencial para el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. Por eso, la Directiva CEM concede una excepción condicionada al cumplimiento del requisito de ceñirse a los valores límite de exposición. Un apéndice a la guía elaborado en el marco de una consulta a las partes interesadas ofrece orientaciones prácticas a los empresarios para el cumplimiento de las condiciones de tal excepción.

En el volumen 2 se presentan doce casos prácticos que muestran a los empresarios cómo plantear las evaluaciones e ilustran algunas de las medidas de prevención y de protección que podrían elegirse y adoptarse. Los casos prácticos se presentan en el contexto de lugares de trabajo genéricos, pero se han recogido a partir de situaciones de trabajo reales. Muchas de las situaciones evaluadas en los casos prácticos generaron campos intensos. En ciertos casos, el riesgo solo afecta a trabajadores con riesgos particulares a los que se podría apartar de la zona de campo intenso. En otros casos, se dan riesgos potenciales para todos los trabajadores, pero su presencia en la zona no es necesaria mientras se genera el campo intenso.

Aparte de la tomografía por resonancia magnética (citada anteriormente), se identifican otras dos situaciones que podrían dar lugar, normalmente, a una exposición de los trabajadores superior a los valores límite de exposición establecidos.

La más generalizada de tales situaciones se refiere a la soldadura por resistencia. Este proceso se basa en corrientes muy intensas y da lugar, con frecuencia, a densidades de flujo magnético próximas o superiores a los niveles de actuación especificados en la Directiva CEM. En el caso de los procesos de soldadura manual, el operario tiene que estar, necesariamente, próximo a la fuente del campo. En las situaciones examinadas en los casos prácticos y en otras, los niveles de actuación inferiores se superan, en ocasiones, temporalmente. Sin embargo, en todos los casos, o bien no se superan los niveles de actuación superiores o bien los modelos indican que no se han superado los valores límite de exposición. Por consiguiente, en la mayoría de los casos, los riesgos pueden gestionarse mediante medidas sencillas como el suministro de información y la formación de los trabajadores, de manera que comprendan los riesgos y cómo reducir al mínimo la exposición utilizando el equipo con arreglo a las indicaciones. No obstante, es posible que una minoría de las operaciones de soldadura por resistencia manuales den lugar a exposiciones superiores a los valores límite de exposición especificados en la Directiva CEM. Es probable que los representantes de los sectores en los que se emplean estas tecnologías tengan que dirigirse a las administraciones de los Estados

miembros para solicitar una exención y poder seguir utilizando esos equipos de manera temporal, hasta que puedan sustituirlos por otros.

La segunda situación que da lugar a un elevado nivel de exposición se refiere al uso de la estimulación magnética transcraneal en medicina. Este procedimiento es menos común que la tomografía por resonancia magnética, aunque sigue tratándose de una técnica importante y de uso generalizado tanto en el tratamiento como en el diagnóstico. Durante el tratamiento, el aplicador suele sostenerse sobre la cabeza del paciente en un soporte adecuado. Puesto que el terapeuta no ha de hallarse próximo al paciente durante el funcionamiento del equipo, debería ser simple limitar la exposición de los trabajadores. Por el contrario, las aplicaciones diagnósticas requieren actualmente la manipulación manual del aplicador y, de este modo, dan lugar inevitablemente a elevados niveles de exposición para los trabajadores. El desarrollo de equipos de manipulación remota adecuados permitiría reducir el nivel de exposición de los trabajadores.

En conclusión, la guía se ha elaborado con un diseño modular con objeto de reducir al mínimo la carga impuesta a la mayoría de los empresarios, que solo tendrán que leer la primera sección. Ciertos empresarios tendrán que tener en cuenta a los trabajadores con riesgos particulares y, así pues, habrán de leer asimismo la segunda sección. Los empresarios cuyas actividades generen campos intensos tendrán que leer, incluso, la tercera sección, y aquellos cuyas actividades generen campos que representen un riesgo habrán de tener en cuenta asimismo la última sección. En toda la guía, se hace hincapié en la adopción de métodos sencillos, tanto en lo que respecta a las evaluaciones como en lo que concierne a las medidas de prevención y de protección.

ÍNDICE

SECCIÓN 1 — TODOS LOS EMPRESARIOS

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE LA PRESENTE GUÍA	12
1.1.	Cómo utilizar la presente guía	13
1.2.	Introducción a la Directiva CEM.....	15
1.3.	Ámbito de aplicación de la presente guía.....	15
1.4.	Correspondencia con la Directiva 2013/35/UE.....	16
1.5.	Reglamentación nacional y fuentes de información adicional	17
2.	EFFECTOS EN LA SALUD Y RIESGOS PARA LA SEGURIDAD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	18
2.1.	Efectos directos	18
2.2.	Efectos a largo plazo	18
2.3.	Efectos indirectos	19
3.	FUENTES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	20
3.1.	Trabajadores con riesgos particulares.....	21
3.1.1.	Trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos	22
3.1.2.	Otros trabajadores con riesgos particulares.....	23
3.2.	Requisitos de evaluación relativos a actividades, equipos y lugares de trabajo comunes	23
3.2.1.	Actividades, equipos y lugares de trabajo que pueden requerir una evaluación específica.....	28
3.3.	Actividades, equipos y lugares de trabajo no incluidos en este capítulo.....	28

SECCIÓN 2 — DECIDIR SI PROCEDE EMPRENDER MEDIDAS ADICIONALES

4.	ESTRUCTURA DE LA DIRECTIVA CEM.....	30
4.1.	Artículo 3: Valores límite de exposición y niveles de actuación	32
4.2.	Artículo 4: Evaluación de los riesgos y determinación de la exposición.....	32
4.3.	Artículo 5: Disposiciones encaminadas a evitar o reducir riesgos	33
4.4.	Artículo 6: Información y formación de los trabajadores.....	33
4.5.	Artículo 7: Consulta y participación de los trabajadores	34
4.6.	Artículo 8: Vigilancia de la salud.....	34
4.7.	Artículo 10: Excepciones	34
4.8.	Resumen	34
5.	EVALUACIÓN DE RIESGOS EN EL CONTEXTO DE LA DIRECTIVA CEM	35
5.1.	Plataforma Interactiva de Evaluación de Riesgos en Línea (OiRA).....	36
5.2.	Paso 1: Preparación.....	36
5.3.	Paso 2: Identificación de peligros y de personas expuestas a riesgos.....	37
5.3.1.	Identificación de peligros.....	37
5.3.2.	Identificación de medidas de prevención y precaución existentes.....	38
5.3.3.	Identificación de personas expuestas a riesgos	38
5.3.4.	Trabajadores con riesgos particulares	38
5.4.	Paso 3: Evaluar y priorizar los riesgos.....	39
5.4.1.	Evaluación del riesgo	39
5.4.1.1.	Efectos directos.....	40
5.4.1.2.	Efectos indirectos.....	40
5.4.1.3.	Trabajadores con riesgos particulares	41
5.5.	Paso 4: Decidir la adopción de medidas de prevención.....	41

5.6.	Paso 5: Empezar medidas	42
5.7.	Documentación de la evaluación de riesgos.....	42
5.8.	Seguimiento y revisión de la evaluación de riesgos.....	42

SECCIÓN 3 — EVALUACIONES DEL CUMPLIMIENTO

6.	USO DE VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN Y NIVELES DE ACTUACIÓN	44
6.1.	Niveles de actuación relativos a efectos directos.....	46
6.1.1.	Niveles de actuación relativos a campos eléctricos (1 Hz-10 MHz)	48
6.1.2.	Niveles de actuación relativos a campos magnéticos (1 Hz-10 MHz).....	49
6.1.3.	Niveles de actuación relativos a campos eléctricos y magnéticos (100 kHz-300 GHz).....	50
6.1.4.	Niveles de actuación referidos a la exposición a corrientes de extremidades (10-110 MHz)	50
6.2.	Niveles de actuación relativos a efectos indirectos.....	50
6.2.1.	Niveles de actuación relativos a campos magnéticos estáticos.....	50
6.2.2.	Niveles de actuación relativos a corrientes de contacto (hasta 110 MHz).....	50
6.3.	Valores límite de exposición	51
6.3.1.	Valores límite de exposición relacionados con efectos en la salud y con efectos sensoriales	51
6.3.2.	Valores límite de exposición (0-1 Hz).....	52
6.3.3.	Valores límite de exposición (1 Hz-10 MHz).....	52
6.3.4.	Valores límite de exposición (100 kHz-300 GHz).....	53
6.4.	Excepciones.....	53
6.4.1.	Excepción aplicable a la obtención de imágenes por RM	54
6.4.2.	Excepción militar	55
6.4.3.	Excepción general	55
7.	USO DE BASES DE DATOS Y DATOS DE EMISIÓN DE LOS FABRICANTES.....	56
7.1.	Utilización de la información facilitada por el fabricante	56
7.1.1.	Base para la evaluación del fabricante.....	57
7.2.	Bases de datos de evaluaciones.....	58
7.3.	Suministro de información por el fabricante	58
7.3.1.	Normas de evaluación.....	58
7.3.2.	Si no existe una norma pertinente	58
8.	CÁLCULO O MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN	61
8.1.	Disposiciones de la Directiva CEM	61
8.2.	Evaluaciones de los lugares de trabajo.....	61
8.3.	Casos especiales.....	62
8.4.	Búsqueda de asistencia adicional.....	62

SECCIÓN 4 — ¿ES NECESARIO ADOPTAR ALGUNA MEDIDA MÁS?

9.	MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN	66
9.1.	Principios de prevención.....	66
9.2.	Eliminación del peligro	67
9.3.	Sustitución por procesos o equipos menos peligrosos.....	67
9.4.	Medidas técnicas	68
9.4.1.	Apantallamiento.....	68
9.4.2.	Protección del acceso	69
9.4.3.	Dispositivos de bloqueo recíproco	70
9.4.4.	Equipo de protección sensible.....	71
9.4.5.	Dispositivo de mando a dos manos	71
9.4.6.	Paradas de emergencia.....	72
9.4.7.	Medidas técnicas para evitar descargas de chispas.....	72
9.4.8.	Medidas técnicas para evitar corrientes de contacto.....	73

9.5.	Medidas organizativas.....	73
9.5.1.	Delimitación y restricción de acceso.....	73
9.5.2.	Signos y avisos de seguridad.....	75
9.5.3.	Procedimientos escritos.....	77
9.5.4.	Información sobre la seguridad del sitio.....	77
9.5.5.	Supervisión y gestión.....	78
9.5.6.	Instrucciones y formación.....	78
9.5.7.	Diseño y disposición de los lugares y puestos de trabajo.....	79
9.5.8.	Adopción de buenas prácticas de trabajo.....	80
9.5.9.	Programas de mantenimiento preventivo.....	82
9.5.10.	Restricción del movimiento en campos magnéticos estáticos.....	82
9.5.11.	Coordinación y cooperación entre empresarios.....	82
9.6.	Equipos de protección individual.....	83
10.	PREPARACIÓN PARA EMERGENCIAS.....	84
10.1.	Elaboración de planes.....	84
10.2.	Respuesta ante incidentes adversos.....	84
11.	RIESGOS, SÍNTOMAS Y VIGILANCIA DE LA SALUD.....	86
11.1.	Riesgos y síntomas.....	86
11.1.1.	Campos magnéticos estáticos (0 a 1 Hz).....	86
11.1.2.	Campos magnéticos de baja frecuencia (1 Hz a 10 MHz).....	87
11.1.3.	Campos eléctricos de baja frecuencia (1 Hz a 10 MHz).....	87
11.1.4.	Campos de alta frecuencia (100 kHz a 300 GHz).....	87
11.2.	Vigilancia de la salud.....	89
11.3.	Reconocimientos médicos.....	89
11.4.	Registros.....	90

SECCIÓN 5 — MATERIAL DE REFERENCIA

APÉNDICE A.	Naturaleza de los campos electromagnéticos.....	92
APÉNDICE B.	Efectos en la salud de los campos electromagnéticos.....	96
APÉNDICE C.	Magnitudes y unidades de los campos electromagnéticos.....	101
APÉNDICE D.	Evaluación de la exposición.....	108
APÉNDICE E.	Efectos indirectos y trabajadores con riesgos particulares.....	156
APÉNDICE F.	Orientaciones sobre obtención de imágenes por RM.....	164
APÉNDICE G.	Requisitos de otros documentos europeos.....	175
APÉNDICE H.	Normas europeas e internacionales.....	182
APÉNDICE I.	Recursos.....	184
APÉNDICE J.	Glosario y abreviaturas.....	188
APÉNDICE K.	Bibliografía.....	192
APÉNDICE L.	Directiva 2013/35/UE.....	194

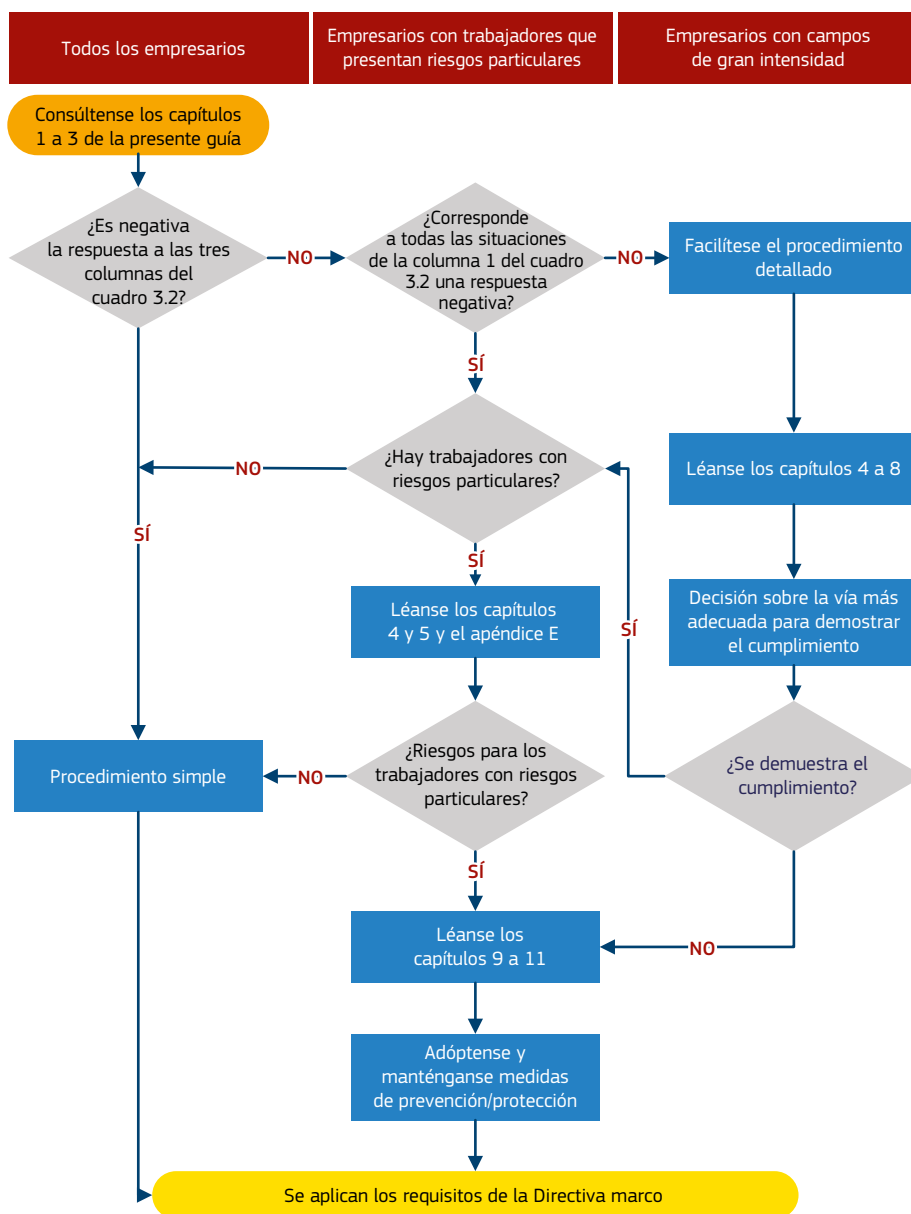
Sección 1

TODOS LOS EMPRESARIOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE LA PRESENTE GUÍA

La presencia de campos electromagnéticos (CEM), abordada en la Directiva CEM (Directiva 2013/35/UE), es un hecho cotidiano en el mundo desarrollado, toda vez que tales campos se generan siempre que se hace uso de la electricidad. Para la mayoría de los trabajadores, la intensidad de los campos no causa efecto adverso alguno. Sin embargo, en ciertos lugares de trabajo la intensidad de los campos puede representar un riesgo, por lo que la Directiva CEM existe para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en tales situaciones. Una de las principales dificultades para los empresarios se refiere a cómo reconocer si necesitan adoptar medidas específicas adicionales o no.

Figura 1.1. Visión general de cómo usar la presente guía



1.1. Cómo utilizar la presente guía

La presente guía está dirigida principalmente a los empresarios y, concretamente, a las pequeñas y medianas empresas. No obstante, también puede ser útil para trabajadores, representantes de los trabajadores y autoridades reguladoras de los Estados miembros.

Le ayudará a llevar a cabo una evaluación inicial de los riesgos derivados de los CEM en su lugar de trabajo. Sobre la base del resultado de la evaluación, le ayudará a decidir si necesita adoptar medidas adicionales con arreglo a la Directiva CEM. En caso afirmativo, le facilitará orientaciones prácticas sobre las medidas que pueda adoptar.

La guía está concebida para ayudarle a comprender el modo en que las actividades que lleva a cabo pueden verse afectadas por la Directiva CEM. No es jurídicamente vinculante y no ofrece una interpretación de los requisitos jurídicos específicos que tenga que cumplir. Por tanto, ha de leerse junto a la Directiva CEM (véase el apéndice L), la Directiva marco 89/391/CEE y la legislación nacional pertinente.

La Directiva CEM establece los requisitos de seguridad mínimos relativos a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos. Sin embargo, son pocos los empresarios que tendrán que calcular o medir los niveles de CEM en sus lugares de trabajo. En la mayoría de los casos, la naturaleza del trabajo será tal que los riesgos serán bajos y podrán determinarse de manera sencilla. La estructura de esta guía está concebida de manera que los empresarios que ya cumplen la normativa puedan determinarlo de manera rápida, sin tener que leerla íntegramente.

El proceso de utilización de la presente guía se ilustra en el diagrama de flujo de la figura 1.1. La guía se divide de manera natural en cuatro secciones.

1. La primera (capítulos 1 a 3) está dirigida a todos los lectores y ofrece una introducción general, instrucciones sobre cómo utilizarla, una descripción breve de los principales efectos sobre la seguridad y la salud y una explicación sobre las fuentes de CEM. Es importante señalar que el capítulo 3 incluye una lista de equipos, actividades y situaciones genéricos en los que cabe prever que los CEM sean tan débiles que los empresarios no tengan que adoptar medidas adicionales. Para la mayoría de los empresarios, en tanto estén cumpliendo los requisitos de la Directiva marco, ese cuadro debe permitirles determinar que ya cumplen sus obligaciones. Para tales empresarios, la guía habrá cumplido su propósito y no tendrán que seguir leyéndola.
2. La segunda sección (capítulos 4 y 5) está dirigida a los empresarios que no han podido concluir que no tienen obligación de emprender medidas adicionales. Tendrán que profundizar en los requisitos de la Directiva CEM y llevar a cabo una evaluación de riesgos referida específicamente a los campos electromagnéticos. En algunos casos, la causa estará en que sus empleados presentan riesgos particulares relacionados con los CEM. Dependiendo de los resultados de la evaluación, los empresarios afectados podrán pasar directamente a la cuarta sección. En otros casos, es posible que los CEM sean lo bastante intensos para representar un riesgo para todos los trabajadores. En tal supuesto, los empresarios tendrán que pasar a la tercera sección.
3. La tercera sección (capítulos 6, 7 y 8) está dirigida a los empresarios que han de determinar si se superan los niveles de actuación (NA) y, en ciertos casos, los valores límite de exposición (VLE). Con frecuencia podrá demostrarse que no es así y que las prácticas de trabajo vigentes son aceptables. En todo caso, estos empresarios necesitarán una evaluación de riesgos más detallada y una mejor estimación de las situaciones de exposición a riesgos. En muchos casos tendrán suficiente con leer hasta el capítulo 7, aunque a algunos también les será de utilidad leer el capítulo 8.

4. La cuarta sección (capítulos 9, 10 y 11) está dirigida a una pequeña minoría de empresarios que identifiquen exposiciones por encima de un VLE u otros riesgos que tengan que reducirse. En tales circunstancias, tendrán que adoptar cambios para proteger a los trabajadores. Por supuesto, deberán haber leído también los capítulos anteriores.

Esta guía le conducirá por una vía lógica para evaluar el riesgo de exposición de los trabajadores a los campos electromagnéticos.

Cuadro 1.1. Vía para la evaluación de riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos mediante el uso de la presente guía

Si todos los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en el lugar de trabajo son bajos, no será necesario adoptar medidas adicionales.

Los empresarios harán constar que han examinado su lugar de trabajo y llegado a tal conclusión.

Si los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos no son bajos o si se trata de riesgos indeterminados, los empresarios seguirán un proceso para evaluarlos y adoptar las medidas cautelares adecuadas, si es preciso.

En el capítulo 4 se describen los requisitos de la Directiva CEM, mientras que en el capítulo 5 se explica una metodología recomendada para evaluar los riesgos derivados de la exposición a CEM. Es posible que la conclusión sea que no existe un riesgo significativo. En este caso, se hará constar la evaluación y el proceso se detendrá ahí.

En el capítulo 6 se explica el uso de valores límite de exposición y de niveles de actuación. También se tratan las excepciones.

Como ayuda en la evaluación de riesgos en general y para evaluar el cumplimiento de los niveles de actuación o los valores límite de exposición en particular, es posible que los empresarios precisen de información sobre el nivel de los CEM. Podrán obtenerla de bases de datos o de los fabricantes (capítulo 7), o bien tener que efectuar los correspondientes cálculos o mediciones (capítulo 8).

En el capítulo 9 se pormenorizan las medidas de prevención y protección en casos en que sea necesario reducir el riesgo.

En el capítulo 10 se ofrecen orientaciones sobre la preparación para emergencias, y en el capítulo 11 sobre riesgos, síntomas y vigilancia de la salud.

Los capítulos de la presente guía se han redactado de la manera más breve posible, al objeto de reducir al mínimo la carga de consultarlos. Los apéndices ofrecen información adicional para los empresarios y otros interesados en el proceso de evaluación de riesgos (cuadro 1.2):

Cuadro 1.2. Apéndices a la presente guía

A — Naturaleza de los CEM

B — Efectos en la salud de los CEM

C — Magnitudes y unidades relativas a los CEM

D — Evaluación de la exposición

E — Efectos indirectos y trabajadores con riesgos particulares

F — Orientaciones sobre obtención de imágenes por RM

G — Requisitos de otros documentos de la Unión Europea

H — Normas europeas e internacionales

I — Recursos

J — Glosario y abreviaturas

K — Bibliografía

L — Directiva 2013/35/UE

1.2. Introducción a la Directiva CEM

Todos los empresarios tienen la obligación de evaluar los riesgos derivados de las actividades que lleven a cabo y de adoptar medidas de protección o prevención para reducir los riesgos que identifiquen. Estas obligaciones se establecen como un requisito en la Directiva marco. Para ayudar a los empresarios a cumplir sus obligaciones generales con arreglo a esa Directiva marco en el caso concreto de los CEM en el lugar de trabajo, se adoptó la Directiva CEM. Puesto que los empresarios estarán cumpliendo ya las disposiciones de la Directiva marco, la mayoría comprobará que también cumple íntegramente la Directiva CEM y que no tiene nada más que hacer.

Se definen como campos electromagnéticos en la Directiva CEM los campos eléctricos estáticos, los campos magnéticos estáticos y los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias de hasta 300 GHz. Esta terminología solo se emplea en esta guía allí donde resulta claramente conveniente.

Los campos electromagnéticos proceden de una amplia gama de fuentes con las que los trabajadores pueden encontrarse en el lugar de trabajo. Se generan y utilizan en numerosas actividades de trabajo, incluidos procesos de fabricación, investigación, comunicación, aplicaciones médicas, generación, transmisión y distribución de electricidad, radiodifusión, navegación aeronáutica y marítima; y seguridad. Los campos electromagnéticos también pueden ser accidentales, como los que se generan cerca de cables de distribución de corriente eléctrica dentro de edificios o los que se desprenden del uso de equipos y aparatos eléctricos. Toda vez que los campos se generan en su mayoría eléctricamente, desaparecen en el momento en que se desconecta la corriente.

La Directiva CEM trata los efectos directos e indirectos comprobados que causan los campos electromagnéticos; no comprende los supuestos efectos sobre la salud a largo plazo (véase la sección 2.2). Los efectos directos se dividen en: efectos no térmicos, como la estimulación de nervios, músculos y órganos sensoriales, y los efectos térmicos, como el calentamiento de tejidos (véase la sección 2.1). Los efectos indirectos se producen en los casos en que la presencia de un objeto dentro de un campo electromagnético puede convertirse en la causa de un peligro para la seguridad o la salud (véase la sección 2.3).

1.3. Ámbito de aplicación de la presente guía

Esta guía tiene por objeto ofrecer orientaciones prácticas que ayuden a los empresarios a cumplir la Directiva CEM. Se dirige a todas las empresas cuyos trabajadores puedan encontrar campos electromagnéticos. Aunque la Directiva CEM no excluye específicamente ningún tipo de actividad o de tecnología, los campos en muchos lugares de trabajo serán tan débiles que no supondrán riesgo alguno. La presente guía ofrece una lista de actividades, equipos y lugares de trabajo genéricos en los que cabe prever que los campos sean tan débiles que los empresarios no tengan que adoptar medidas adicionales. La guía no versa sobre cuestiones de compatibilidad electromagnética, que se tratan en otros textos.

La Directiva CEM exige a los empresarios que tengan en cuenta a los trabajadores con riesgos particulares, como los que llevan implantados dispositivos médicos activos o pasivos, tales como marcapasos, los que llevan en el cuerpo dispositivos médicos,

como bombas de insulina, y las trabajadoras embarazadas. La presente guía ofrece asesoramiento sobre tales situaciones.

Existirán situaciones de posible exposición que sean muy específicas o muy complejas y, por tanto, queden fuera del ámbito de aplicación de la guía. Es posible que ciertos sectores industriales con situaciones de exposición especiales tengan que elaborar sus propias orientaciones en relación con la Directiva CEM, previa consulta donde proceda (véase el apéndice I). Los empresarios con situaciones de exposición complejas deben procurarse un asesoramiento adicional sobre la evaluación (véanse el capítulo 8 y el apéndice I).

1.4. Correspondencia con la Directiva 2013/35/UE

La presente guía se ha elaborado en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 14 de la Directiva CEM. En el cuadro 1.3. se muestra la correspondencia de los artículos de la Directiva CEM con los capítulos de la guía.

Cuadro 1.3. Correspondencia entre los artículos de la Directiva CEM y las secciones de la presente guía

Artículos y orientaciones	Sección de la guía
Artículo 2: Definiciones	
Información general	Apéndices A y B
Magnitudes y unidades empleadas en la Directiva CEM	Apéndice C
Términos y abreviaturas	Apéndice J
Artículo 3: Valores límite de exposición y niveles de actuación	
Limitación de la exposición	Sección 6.3
Aplicación de niveles de actuación	Secciones 6.1 y 6.2
Acciones requeridas	Secciones 9.4 y 9.5
Artículo 4: Evaluación de los riesgos y determinación de la exposición	
Evaluación de los riesgos	Capítulo 5
Efectos indirectos y trabajadores con riesgos particulares	Secciones 5.3 y 5.4 y apéndice E
Evaluación de la exposición mediante el uso de la información disponible	Capítulo 7
Evaluación de la exposición a través de la medición o el cálculo	Capítulo 8 y apéndice D
Artículo 5: Disposiciones encaminadas a evitar o reducir riesgos	
Principios de prevención	Sección 9.1
Medidas técnicas	Sección 9.4
Medidas organizativas	Sección 9.5
Equipos de protección individual	Sección 9.6
Artículo 6: Información y formación de los trabajadores	
Información de los trabajadores	Sección 9.5 y apéndice E
Formación de los trabajadores	Sección 9.5 y apéndices A y B
Artículo 7: Consulta y participación de los trabajadores	
Consulta y participación de los trabajadores	Capítulo 4
Artículo 8: Vigilancia de la salud	
Síntomas	Sección 11.1
Vigilancia de la salud	Sección 11.2
Reconocimiento médico	Sección 11.3
Artículo 10: Excepciones	
Excepciones	Sección 6.4 y apéndice F

1.5. Reglamentación nacional y fuentes de información adicional

El uso de la presente guía no garantiza necesariamente el cumplimiento de los requisitos jurídicos de protección frente a campos electromagnéticos de los diversos Estados miembros de la UE. En todos los casos prevalecerá la legislación a través de la cual los Estados miembros hayan transpuesto la Directiva 2013/35/UE. Tal legislación puede ir más allá de lo que exigen los requisitos mínimos de la Directiva CEM, en la que se basa la presente guía. En el apéndice I se ofrece información adicional procedente de las autoridades nacionales competentes.

Como ayuda adicional para la aplicación de las disposiciones de la Directiva CEM, los fabricantes pueden diseñar sus productos de modo que se reduzcan al mínimo los CEM accesibles. También pueden facilitar información sobre los campos y los riesgos asociados al equipo en su explotación normal. El uso de la información de los fabricantes se trata con más detalle en el capítulo 7.

En los apéndices de la guía se ofrecen fuentes de información adicional. Concretamente, en el apéndice I se ofrecen datos sobre organizaciones nacionales y asociaciones comerciales, mientras que el apéndice J contiene un glosario, una lista de abreviaturas y una explicación de los símbolos de los diagramas de flujo empleados en la guía. En el apéndice K se facilita una bibliografía de publicaciones útiles.

2. EFECTOS EN LA SALUD Y RIESGOS PARA LA SEGURIDAD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

El tipo de efecto que los campos electromagnéticos tienen en las personas depende fundamentalmente de su frecuencia e intensidad: otros factores, tales como la forma de la onda, también pueden ser importantes en ciertas situaciones. Determinados campos causan la estimulación de los órganos sensoriales, los nervios y los músculos, mientras que otros causan calentamiento. En la Directiva, los efectos causados por el calentamiento se denominan *efectos térmicos*, mientras que todos los demás se denominan *efectos no térmicos*. En el apéndice B se facilitan más detalles sobre los efectos en la salud de la exposición a campos electromagnéticos.

Es importante señalar que, para todos estos efectos, hay un umbral por debajo del cual no existe riesgo y que las exposiciones por debajo de dicho umbral no son acumulativas en modo alguno. Los efectos causados por la exposición son transitorios y se limitan a la duración de aquella, de manera que pararán o disminuirán una vez finalice la exposición. Así pues, no puede seguir existiendo un riesgo para la salud una vez que ha finalizado la exposición.

2.1. Efectos directos

Los efectos directos son los cambios que se producen en una persona de resultados de la exposición a un campo electromagnético. La Directiva CEM solo considera los efectos bien comprendidos que se basan en mecanismos conocidos. Distingue entre efectos sensoriales y efectos en la salud, que se consideran más graves.

Los efectos directos son los siguientes:

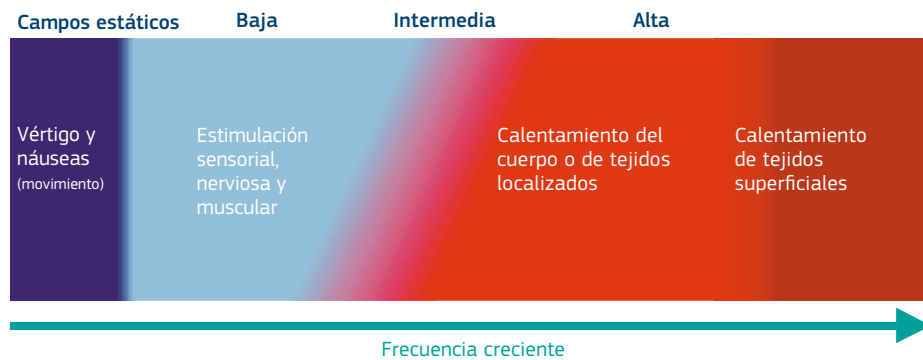
- vértigo y náuseas provocados por campos magnéticos estáticos (generalmente asociados al movimiento, aunque también pueden darse en situación estática);
- efectos en los órganos sensoriales, los nervios y los músculos provocados por campos de baja frecuencia (hasta 100 kHz);
- calentamiento de todo el cuerpo o de partes de este provocado por campos de alta frecuencia (10 MHz o más); por encima de unos cuantos GHz, el calentamiento se limita cada vez más a la superficie del cuerpo;
- efectos en los nervios y los músculos y calentamiento provocados por campos de frecuencia intermedia (100 kHz-10 MHz).

Estos conceptos se ilustran en la figura 2.1. Véase el apéndice B para obtener más información sobre los efectos directos.

2.2. Efectos a largo plazo

La Directiva CEM no aborda los posibles efectos a largo plazo de la exposición a campos electromagnéticos, ya que actualmente no existen datos científicos comprobados que establezcan un nexo causal. Sin embargo, de presentarse tales datos científicos, la Comisión Europea consideraría los medios más adecuados para responder ante estos efectos.

Figura 2.1. Efectos de los CEM en distintos intervalos de frecuencia (los intervalos de frecuencia no se representan a escala)



2.3. Efectos indirectos

Pueden producirse efectos no deseados debido a la presencia de objetos en el campo que den lugar a peligros para la seguridad o la salud. El contacto con un conductor bajo tensión queda fuera del ámbito de aplicación de la Directiva CEM.

Los efectos indirectos son los siguientes:

- interferencia con equipos y otros dispositivos electrónicos médicos;
- interferencia con dispositivos médicos implantados activos tales como marcapasos cardíacos o desfibriladores;
- interferencia con dispositivos médicos que se llevan en el cuerpo, tales como bombas de insulina;
- interferencia con implantes pasivos (articulaciones artificiales, clavos, cables o placas de metal);
- efectos en restos de metralla, pírsines (*piercings*), tatuajes y arte corporal;
- riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos sueltos en campos magnéticos estáticos;
- activación no intencionada de detonadores;
- incendios y explosiones resultantes del encendido de materiales inflamables o explosivos;
- descargas eléctricas o quemaduras por corrientes de contacto al tocar una persona un objeto conductor dentro un campo electromagnético mientras que solo la persona o el objeto mantiene contacto con tierra.

En el capítulo 5 y el apéndice E se facilita información adicional sobre los efectos indirectos y sobre la gestión de tales riesgos en el lugar de trabajo.



Mensaje clave: efectos de los CEM

Los CEM en el lugar de trabajo pueden causar efectos directos o indirectos. Los efectos directos son los que se desprenden de una interacción de los campos con el cuerpo y pueden ser no térmicos o térmicos. Los efectos indirectos se desprenden de la presencia de un objeto en el campo que da lugar a un peligro para la seguridad o la salud.

3. FUENTES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Todos, en nuestra sociedad moderna, estamos expuestos a campos eléctricos y magnéticos procedentes de múltiples fuentes, como los equipos eléctricos, transmisiones de radiodifusión y los aparatos de comunicación (figura 3.1). En el apéndice A se facilita información adicional sobre la naturaleza de los campos electromagnéticos. La mayoría de las fuentes de campos electromagnéticos en el hogar y en el lugar de trabajo producen niveles de exposición sumamente bajos, por lo que es improbable que la mayoría de las actividades más comunes, en sí mismas, den lugar a unos niveles de exposición por encima de los niveles de actuación o de los valores límite de exposición establecidos en la Directiva CEM.

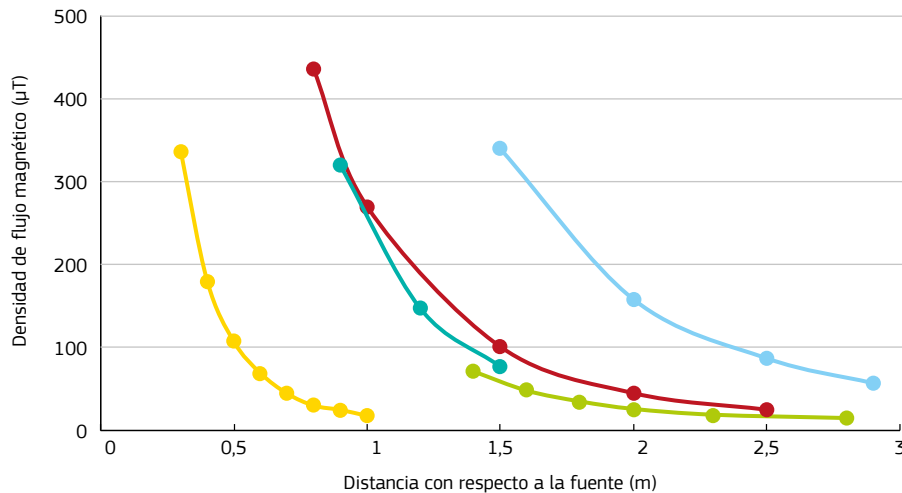
Figura 3.1. Representación esquemática del espectro electromagnético, con la indicación de ciertas fuentes típicas



El objetivo del presente capítulo consiste en facilitar a los empresarios información sobre las fuentes de CEM presentes en el entorno de trabajo, para ayudarles a decidir si es necesaria una ulterior evaluación de riesgos de CEM. El alcance y la magnitud de los campos electromagnéticos producidos dependerán de las tensiones, intensidades y frecuencias a las que funcionen los equipos o que estos generen, así como de su diseño. Determinados equipos pueden estar diseñados para generar, intencionadamente, campos electromagnéticos externos. En este caso, equipos pequeños y de baja potencia pueden generar unos campos electromagnéticos externos de importante magnitud. Por lo general, los equipos de intensidad y tensión elevados o diseñados para emitir radiación electromagnética precisarán de una evaluación adicional. En el apéndice C se facilita información adicional sobre las magnitudes y unidades comunes empleadas para evaluar los campos electromagnéticos. En el capítulo 5 se ofrecen orientaciones sobre evaluación de riesgos en el contexto de la Directiva CEM.

La magnitud de un campo electromagnético se reduce rápidamente conforme aumenta la distancia con respecto a su fuente (figura 3.2). La exposición de los trabajadores puede reducirse si es posible restringir el acceso a zonas próximas al equipo mientras este se encuentra funcionando. También conviene recordar que los campos electromagnéticos, a menos que sean generados por un imán permanente o por un imán superconductor, desaparecen en principio cuando el equipo se desconecta de la corriente.

Figura 3.2. — Reducción de la densidad de flujo magnético con la distancia referida a diversas fuentes de frecuencias con diferentes potencias: aparato de soldadura por puntos (●—●); bobina de desmagnetización de 0,5 m (●—●); horno de inducción de 180 kW (●—●); aparato de soldadura en cordón de 100 kVA (●—●); bobina de desmagnetización de 1 m (●—●)



El resto del presente capítulo tiene por objeto ayudar a los empresarios a distinguir entre equipos, actividades y situaciones que es improbable que representen un peligro y aquellos en los que podría ser necesario adoptar medidas de protección o prevención para proteger a los trabajadores.

3.1. Trabajadores con riesgos particulares

Se considera que determinados grupos de trabajadores (véase el cuadro 3.1) presentan riesgos particulares derivados de la presencia de campos electromagnéticos. Estos trabajadores podrían no estar adecuadamente protegidos por los NA especificados en la Directiva CEM, por lo que los empresarios deberán considerar su exposición aparte de la de los demás trabajadores.

Los trabajadores con riesgos particulares estarán, en principio, adecuadamente protegidos mediante el cumplimiento de los niveles de referencia especificados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (véase el apéndice E). No obstante, para una pequeña minoría, incluso esos niveles de referencia podrían no brindar una protección adecuada. Estas personas habrán recibido las indicaciones adecuadas por parte del facultativo responsable de su atención médica, y deberán ayudar al empresario a determinar si están expuestas a un riesgo en el lugar de trabajo.

Cuadro 3.1. Trabajadores con riesgos particulares identificados en la Directiva CEM

Trabajadores con riesgos particulares	Ejemplos
Trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos	Marcapasos cardíacos, desfibriladores cardíacos, implantes cocleares, implantes de tronco encefálico, prótesis del oído interno, neuroestimuladores, codificadores retinianos, bombas implantadas de infusión de medicamentos
Trabajadores que llevan implantados dispositivos médicos pasivos que contienen metal	Prótesis articulares, clavos, placas, tornillos, grapas quirúrgicas, muelles para aneurismas, endoprótesis vasculares (stents), prótesis de válvulas cardíacas, anillos de anuloplastia, implantes anticonceptivos metálicos y carcasas de dispositivos médicos implantados activos
Trabajadores que llevan en el cuerpo dispositivos médicos	Bombas de infusión de hormonas externas
Trabajadoras embarazadas	

Nota: Al considerar si los trabajadores presentan riesgos particulares, los empresarios deben tener en cuenta la frecuencia, el nivel y la duración de la exposición.

3.1.1. Trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos

Un grupo de trabajadores expuesto a riesgos particulares es el de los que llevan dispositivos médicos implantados activos (DMIA). Ello se debe a que unos campos electromagnéticos intensos pueden interferir con el funcionamiento normal de tales implantes activos. Existe la obligación jurídica de los fabricantes de estos aparatos de garantizar que sus productos presenten un grado razonable de inmunidad a las interferencias y de someterlos a prueba periódicamente en relación con las intensidades de campo que se puedan encontrar en el entorno público. De este modo, las intensidades de campo hasta los niveles de referencia especificados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo no deben afectar adversamente el funcionamiento de estos aparatos. En cambio, las intensidades de campo por encima de estos niveles de referencia en la posición del aparato o de sus sensores (de haberlos) pueden dar lugar a un mal funcionamiento, con el riesgo consiguiente para quien lo lleve.

Aunque algunas de las situaciones de trabajo analizadas en este capítulo pueden generar campos de gran intensidad, en muchos casos estarán muy localizados. El riesgo, pues, puede gestionarse garantizando que el campo de gran intensidad no se genere en las inmediaciones del implante. Por ejemplo, el campo generado por un teléfono móvil podría causar interferencias a un marcapasos cardíaco si aquel se coloca cerca de este. Ahora bien, las personas que lleven marcapasos pueden utilizar teléfonos móviles sin que ello suponga un riesgo. Simplemente, tienen que mantenerlos alejados del pecho.

En la columna 3 del cuadro 3.2 se identifican las situaciones en las que es necesaria una evaluación específica para los trabajadores que llevan implantes activos, debido a la posibilidad de que se generen campos de gran intensidad en las inmediaciones del aparato o de sus sensores (de haberlos). A menudo, el resultado de esta evaluación consistirá en que, sencillamente, el trabajador debe seguir las instrucciones que le dio el equipo médico al colocarle el implante.

En caso de que haya trabajadores u otras personas con implantes activos que tengan acceso a un lugar de trabajo, el empresario tendrá que considerar si es preciso llevar a cabo una evaluación más detallada. En este contexto, debe señalarse que, en ciertas situaciones de trabajo enumeradas en el cuadro 3.2, se distingue entre las personas que llevan a cabo una actividad y la actividad que se lleva a cabo en el lugar de trabajo. En este último caso, es improbable que se generen campos de gran intensidad en las inmediaciones del implante, por lo que, normalmente, no será necesaria una evaluación.

Ciertas actividades (como la fundición por inducción) generan campos muy intensos. En estos casos, la zona en la que podrían superarse los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo será, generalmente, mucho mayor. Consiguientemente, es probable que la evaluación sea más compleja (véase el apéndice E) y quizá haya que imponer restricciones de acceso.

3.1.2. Otros trabajadores con riesgos particulares

Para los demás grupos de trabajadores con riesgos particulares (véase el cuadro 3.1), los campos de gran intensidad muy localizados no representarán, normalmente, un riesgo. En cambio, estos trabajadores se expondrán a un riesgo en caso de que las actividades de trabajo puedan generar campos que superen los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en zonas que sean más accesibles en general. Las situaciones comunes en que es probable que esto suceda se identifican en la columna 2 del cuadro 3.2. y precisarán de evaluaciones específicas.

Los empresarios que deban considerar la realización de una evaluación referida a los trabajadores con riesgos particulares han de consultar el apéndice E.



Mensaje clave: trabajadores con riesgos particulares

Los trabajadores que llevan implantes activos pueden tener riesgos derivados de la exposición a campos intensos en el lugar de trabajo. Estos campos están, a menudo, muy localizados y, por lo general, los riesgos pueden gestionarse adecuadamente siguiendo unas pocas precauciones sencillas basadas en las recomendaciones del equipo médico.

Aunque ciertos campos pueden representar riesgos particulares para otros grupos de trabajadores (los que llevan implantes pasivos y dispositivos médicos corporales y las trabajadoras embarazadas), eso solo es probable en un número limitado de situaciones (véase el cuadro 3.2).

3.2. Requisitos de evaluación relativos a actividades, equipos y lugares de trabajo comunes

En el cuadro 3.2 se enumeran numerosas actividades, equipos y lugares de trabajo comunes y se ofrece una indicación de si es probable que sea necesario efectuar evaluaciones para:

- trabajadores con implantes activos;
- otros trabajadores con riesgos particulares;
- trabajadores que no presentan riesgos particulares.

Las entradas de este cuadro se basan en si es probable que una situación genere campos de una intensidad superior a los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo y, en caso afirmativo, si es probable que tales campos estén localizados o no.

El cuadro 3.2 se basa en el uso de equipos que cumplen las normas recientes, que se mantienen adecuadamente y que se utilizan con arreglo a las indicaciones del fabricante. En caso de que el trabajo entrañe el uso de equipos viejos, no normalizados y deficientemente mantenidos, podrían no ser aplicables las orientaciones del cuadro.

Si la respuesta relativa a las actividades en un lugar de trabajo es «No» en las tres columnas, no será necesario, en principio, llevar a cabo una evaluación específica en relación con la Directiva CEM, ya que no se prevé ningún riesgo derivado de la presencia de CEM. En tales situaciones, no se requerirán, normalmente, medidas adicionales. Sí será, no obstante, necesario efectuar una evaluación de riesgos general con arreglo a las disposiciones de la Directiva marco. Los empresarios deben permanecer atentos a la evolución de las circunstancias, tal como exige la Directiva marco, y ponderar la necesidad de llevar a cabo una evaluación específica sobre CEM a la luz de cualquier cambio que identifiquen.

Igualmente, en el caso de los lugares de trabajo a los que no tienen acceso los trabajadores con implantes activos u otros trabajadores con riesgos particulares, y siempre que a cada actividad le corresponda un «No» en todas las columnas *pertinentes*, no será necesario llevar a cabo una evaluación específica en relación con la Directiva CEM. Seguirá siendo necesario efectuar una evaluación de riesgos general con arreglo a las disposiciones de la Directiva marco. Los empresarios deberán asimismo permanecer atentos a la evolución de las circunstancias y, en concreto, a la posibilidad de que accedan a las instalaciones de la empresa trabajadores con riesgos particulares.



Mensaje clave: evaluaciones CEM

En caso de que el lugar de trabajo contenga *únicamente* situaciones enumeradas en el cuadro 3.2 a las que corresponda una respuesta «No» en *todas* las columnas pertinentes, no será necesario, normalmente, efectuar una evaluación de riesgos en relación con CEM. Seguirá siendo necesario cumplir las disposiciones de la Directiva marco en cuanto a una evaluación de riesgos general y los empresarios habrán de permanecer atentos a la evolución de las circunstancias.

Cuadro 3.2. — Requisitos relativos a las evaluaciones sobre CEM específicas con respecto a actividades, equipos y lugares de trabajo comunes

Tipo de equipo o de lugar de trabajo	Evaluación necesaria en relación con		
	Trabajadores que no presentan riesgos particulares* (1)	Trabajadores con riesgos particulares (salvo los que lleven implantes activos)** (2)	Trabajadores con implantes activos*** (3)
Comunicaciones inalámbricas			
Teléfonos inalámbricos [incluidas las bases de teléfonos inalámbricos (DECT)]: utilización de	No	No	Sí
Teléfonos inalámbricos [incluidas las bases de teléfonos inalámbricos (DECT)]: lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Teléfonos móviles: utilización de	No	No	Sí
Teléfonos móviles: lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Dispositivos de comunicación inalámbrica (p. ej., Wi-Fi o Bluetooth), incluidos puntos de acceso para redes WLAN: utilización de	No	No	Sí
Dispositivos de comunicación inalámbrica (p. ej., Wi-Fi o Bluetooth), incluidos puntos de acceso para redes WLAN: lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Oficina			
Equipos audiovisuales (p. ej., televisores, reproductores de DVD)	No	No	No
Equipos audiovisuales que contienen transmisores de radiofrecuencia	No	No	Sí

Equipos y redes de comunicaciones conectados por cable	No	No	No
Ordenadores y equipos informáticos	No	No	No
Generadores de aire caliente eléctricos	No	No	No
Ventiladores eléctricos	No	No	No
Equipo de oficina (p. ej., fotocopadoras, trituradores de documentos, grapadoras eléctricas)	No	No	No
Teléfonos (fijos) y aparatos de fax	No	No	No
Infraestructuras (edificios y terrenos)			
Sistemas de alarma	No	No	No
Antenas de estaciones de base, dentro de una zona de exclusión designada para operarios	Sí	Sí	Sí
Antenas de estaciones de base, fuera de zona de exclusión designada para operarios	No	No	No
Maquinaria de jardín (eléctrica): utilización de	No	No	Sí
Maquinaria de jardín (eléctrica): lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Equipos de calefacción (eléctricos) para interiores	No	No	No
Aparatos eléctricos domésticos y profesionales, p. ej., frigorífico, lavadora, secadora, lavavajillas, horno, tostadora, horno microondas, plancha, en tanto no contengan equipos de transmisión tales como WLAN, Bluetooth o teléfonos móviles	No	No	No
Equipo de iluminación, p. ej., alumbrado de zona y lámparas de escritorio	No	No	No
Equipo de iluminación activado por RF o microondas	Sí	Sí	Sí
Lugares de trabajo accesibles al público general que cumplen los niveles de referencia especificados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo	No	No	No
Seguridad			
Sistemas de vigilancia de artículos y RFID (identificación por radiofrecuencia)	No	No	Sí
Borradores de cinta o disco duro	No	No	Sí
Detectores de metales	No	No	Sí
Alimentación eléctrica			
Circuito eléctrico cuyos conductores están próximos entre sí con una intensidad neta de 100 A o menos; incluidos cableado, aparamenta, transformadores, etc.: exposición a campos magnéticos	No	No	No
Circuitos eléctricos cuyos conductores están próximos entre sí con una intensidad neta superior a 100 A, incluidos cableado, aparamenta, transformadores, etc.: exposición a campos magnéticos	Sí	Sí	Sí
Circuitos eléctricos dentro de una instalación, con una intensidad de fase nominal de 100 A o menos para cada circuito; incluidos cableado, aparamenta, transformadores, etc.: exposición a campos magnéticos	No	No	No
Circuitos eléctricos dentro de una instalación, con una intensidad de fase nominal superior a 100 A para cada circuito; incluidos cableado, aparamenta, transformadores, etc.: exposición a campos magnéticos	Sí	Sí	Sí
Instalaciones eléctricas con una intensidad de fase nominal superior a 100 A; incluidos cableado, aparamenta, transformadores, etc.: exposición a campos magnéticos	Sí	Sí	Sí

Instalaciones eléctricas con una intensidad de fase nominal de 100 A o menos; incluidos cableado, apartamenta, transformadores, etc.: exposición a campos magnéticos	No	No	No
Generadores y generadores de emergencia: trabajo en	No	No	Yes
Inversores, incluidos los de sistemas fotovoltaicos	No	No	Sí
Conductores desnudos aéreos con una tensión nominal de hasta 100 kV o líneas aéreas de hasta 150 kV, por encima del lugar de trabajo: exposición a campos eléctricos	No	No	No
Conductores desnudos aéreos con una tensión nominal superior a 100 kV o líneas aéreas de más de 150 kV ⁽¹⁾ , por encima del lugar de trabajo: exposición a campos eléctricos	Sí	Sí	Sí
Conductores desnudos aéreos de cualquier tensión: exposición a campos magnéticos	No	No	No
Circuito de cable subterráneo o aislado, de cualquier tensión nominal: exposición a campos eléctricos	No	No	No
Turbinas eólicas: trabajo en	No	Sí	Sí
Industria ligera			
Procesos de soldadura eléctrica por arco, manual (incluidos MIG, MAG, TIG) con arreglo a buenas prácticas y sin apoyar cables en el cuerpo	No	No	Sí
Cargadores de batería, industriales	No	No	Sí
Cargadores de batería, profesionales de gran tamaño	No	No	Sí
Equipo de revestimiento y pintura	No	No	No
Equipo de control que no contiene radiotransmisores	No	No	No
Equipo de tratamiento de superficie corona	No	No	Sí
Calentamiento dieléctrico	Sí	Sí	Sí
Soldadura dieléctrica	Sí	Sí	Sí
Equipo de pintura electrostática	No	Sí	Sí
Hornos de calentamiento resistivo	No	No	Sí
Pistolas encoladoras (portátiles): lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Pistolas encoladoras: uso de	No	No	Sí
Pistolas de calor (portátiles): lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Pistolas de calor: uso de	No	No	Sí
Rampas hidráulicas	No	No	No
Calentamiento por inducción	Sí	Sí	Sí
Sistemas de calentamiento por inducción, automatizados, detección de averías y reparación que conllevan proximidad inmediata a la fuente de CEM	No	Sí	Sí
Equipo de sellado por inducción	No	No	Sí
Soldadura por inducción	Sí	Sí	Sí
Máquinas herramientas (por ejemplo, taladradoras de pie, amoladoras, tornos, fresadoras, sierras)	No	No	Sí
Inspección de partículas magnéticas (detección de fisuras)	Sí	Sí	Sí
Magnetizadores/desmagnetizadores, industriales (incluidos borradores de cinta)	Sí	Sí	Sí
Equipo e instrumental de medición que no contienen radiotransmisores	No	No	No

⁽¹⁾ En el caso de las líneas aéreas de más de 150 kV, la intensidad de campo eléctrico será generalmente, aunque no siempre, inferior al nivel de referencia especificado en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

Calentamiento y secado por microondas en industrias madereras (secado, modelado y pegado de madera)	Sí	Sí	Sí
Aparatos de plasma de RF, incluidas deposición y pulverización en vacío	Sí	Sí	Sí
Herramientas (eléctricas manuales y transportables, p. ej., taladros, lijadoras, sierras radiales y amoladoras de ángulo): uso de	No	No	Sí
Herramientas (eléctricas manuales y transportables): lugares de trabajo que contienen	No	No	No
Sistemas de soldadura, automatizados, detección de averías, reparación y formación que conllevan proximidad inmediata a la fuente de CEM	No	Sí	Sí
Soldadura, resistencia manual (soldadura por puntos, soldadura en cordón)	Sí	Sí	Sí
Industria pesada			
Electrólisis industrial	Sí	Sí	Sí
Hornos de fundición por arco	Sí	Sí	Sí
Hornos de fundición por inducción (los hornos de menor tamaño suelen presentar campos accesibles más elevados que los de mayor tamaño)	Sí	Sí	Sí
Construcción			
Maquinaria de construcción (p. ej., hormigoneras, vibradores, grúas, etc.): trabajo a corta distancia	No	No	Sí
Secado por microondas en el sector de la construcción	Sí	Sí	Sí
Medicina			
Equipos médicos que no emplean CEM para el diagnóstico o el tratamiento	No	No	No
Equipos médicos que emplean CEM para el diagnóstico o el tratamiento (por ejemplo, diatermia de onda corta, estimulación magnética transcraneal)	Sí	Sí	Sí
Transporte			
Vehículos y equipos de motor: trabajo a corta distancia de motores de arranque, alternadores y sistemas de encendido	No	No	Sí
Radar para control del tráfico aéreo, militar, meteorológico y de largo alcance	Sí	Sí	Sí
Trenes y tranvías de propulsión eléctrica	Sí	Sí	Sí
Varios			
Cargadores de batería de acoplamiento inductivo o de proximidad	No	No	Yes
Cargadores de batería de acoplamiento no inductivo concebido para el uso doméstico	No	No	No
Sistemas y aparatos de radiodifusión (radio y TV: LF, MF, HF, VHF, UHF)	Sí	Sí	Sí
Equipos que generan campos magnéticos estáticos > 0,5 militeslas, bien eléctricamente o bien a través de imanes permanentes (por ejemplo, mandriles magnéticos, tablas y cintas transportadoras, imanes elevadores, abrazaderas magnéticas, placas de identidad, insignias)	No	No	Sí
Equipos comercializados en el mercado europeo que cumplen la Recomendación 1999/519/CE del Consejo o normas armonizadas en materia de CEM	No	No	No

Auriculares que producen fuertes campos magnéticos	No	No	Sí
Equipos de cocina por inducción profesionales	No	No	Sí
Equipos no eléctricos de todos los tipos, salvo los que contienen imanes permanentes	No	No	No
Equipos portátiles (alimentados por baterías) que no contienen transmisores de radiofrecuencia	No	No	No
Radios bidireccionales (por ejemplo, emisores-receptores, autorradios)	No	No	Sí
Transmisores alimentados por baterías	No	No	Sí

Nota: * Se precisa evaluación con arreglo a los NA o los VLE aplicables (véase el capítulo 6).
 ** Evaluación con arreglo a los niveles de referencia de la Recomendación del Consejo (véanse la sección 5.4.1.3 y el apéndice E).
 *** La exposición personal localizada puede superar los niveles de referencia de la Recomendación del Consejo: ello habrá de tenerse en cuenta en la evaluación de riesgos, que se basará en la información suministrada por el equipo médico responsable de la implantación del aparato y/o de la atención posterior (véanse la sección 5.4.1.3 y el apéndice E).

3.2.1. Actividades, equipos y lugares de trabajo que pueden requerir una evaluación específica

Los lugares de trabajo que contienen equipos que funcionan con altas intensidades o tensiones o se hallan próximos a estos pueden incluir zonas de campos electromagnéticos intensos. Es probable que ello suceda asimismo en el caso de los equipos diseñados para transmitir deliberadamente radiación electromagnética de alta potencia. Estos campos intensos pueden superar los NA o los VLE establecidos en la Directiva CEM o representar riesgos no aceptables asociados a riesgos indirectos.

En la columna 1 del cuadro 3.2 se identifican situaciones que pueden generar campos intensos que, normalmente, precisarán de una evaluación CEM específica. Este cuadro se ha elaborado partiendo de que los datos de medición existentes sobre ejemplos de estas situaciones indican que los campos pueden ser lo bastante intensos como para aproximarse y, en algunos casos, superar los NA pertinentes. De ahí que un «Sí» en la columna 1 no signifique que el campo accesible vaya a superar definitivamente un VLE. En lugar de ello, significa que no se puede tener la certidumbre de que siempre se vaya a cumplir el VLE, teniéndose en cuenta el intervalo de variación que es probable se dé en el lugar de trabajo. Es, pues, recomendable efectuar una evaluación específica para cada lugar de trabajo.

Ha de destacarse que en el cuadro 3.2 se ofrecen ejemplos de situaciones que se dan comúnmente en el lugar de trabajo. No se trata de una lista exhaustiva, pues pueden existir otros equipos especializados o procesos inusuales que no se hayan incluido. No obstante, la lista deberá ser de ayuda a los empresarios para identificar tipos de situaciones que pueden precisar de una evaluación más detallada.

3.3. Actividades, equipos y lugares de trabajo no incluidos en este capítulo

Si los empresarios identifican situaciones en sus lugares de trabajo que no parecen estar cubiertas por las entradas del cuadro 3.2, el primer paso consistirá en recoger tanta información como puedan a través de manuales y otros documentos que obren en su poder. El paso siguiente consistirá en investigar si hay información disponible a través de fuentes externas, tales como fabricantes de equipos y asociaciones comerciales (véase el capítulo 7 de la presente guía).

Si no es posible obtener información sobre CEM a través de ninguna otra fuente, podría ser necesario llevar a cabo una evaluación mediante mediciones o cálculos (véase el capítulo 8).

Sección 2

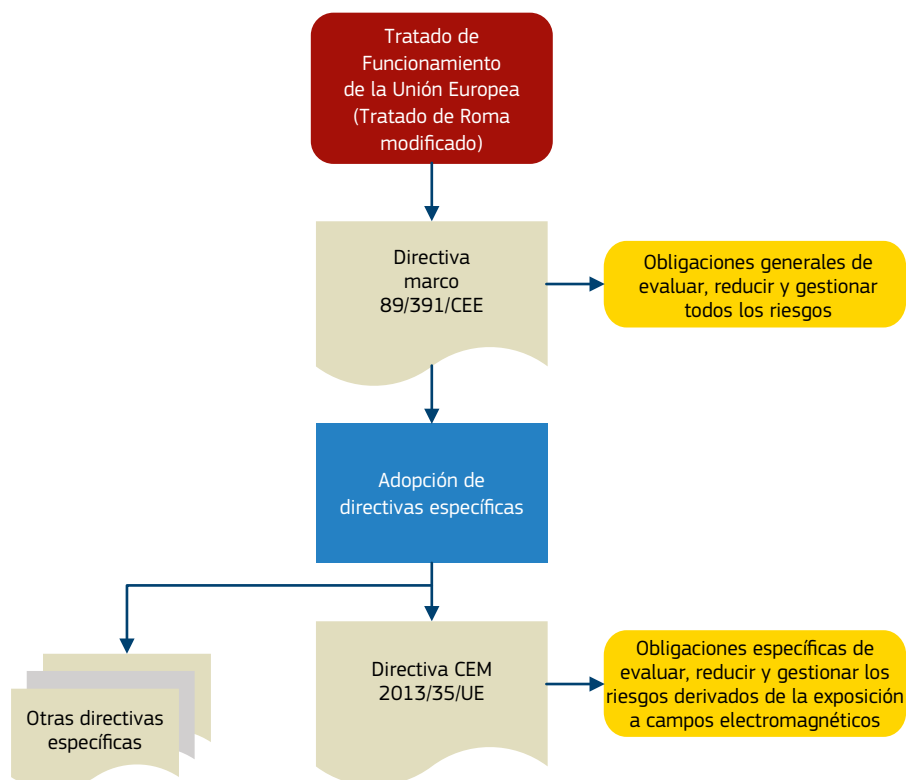
DECIDIR SI PROCEDE EMPRENDER MEDIDAS ADICIONALES

4. ESTRUCTURA DE LA DIRECTIVA CEM

El texto íntegro de la Directiva CEM 2013/35/UE se incluye en el apéndice L de la presente guía. El presente capítulo explica cómo y por qué se ha adoptado la Directiva CEM y ofrece un resumen de sus disposiciones principales.

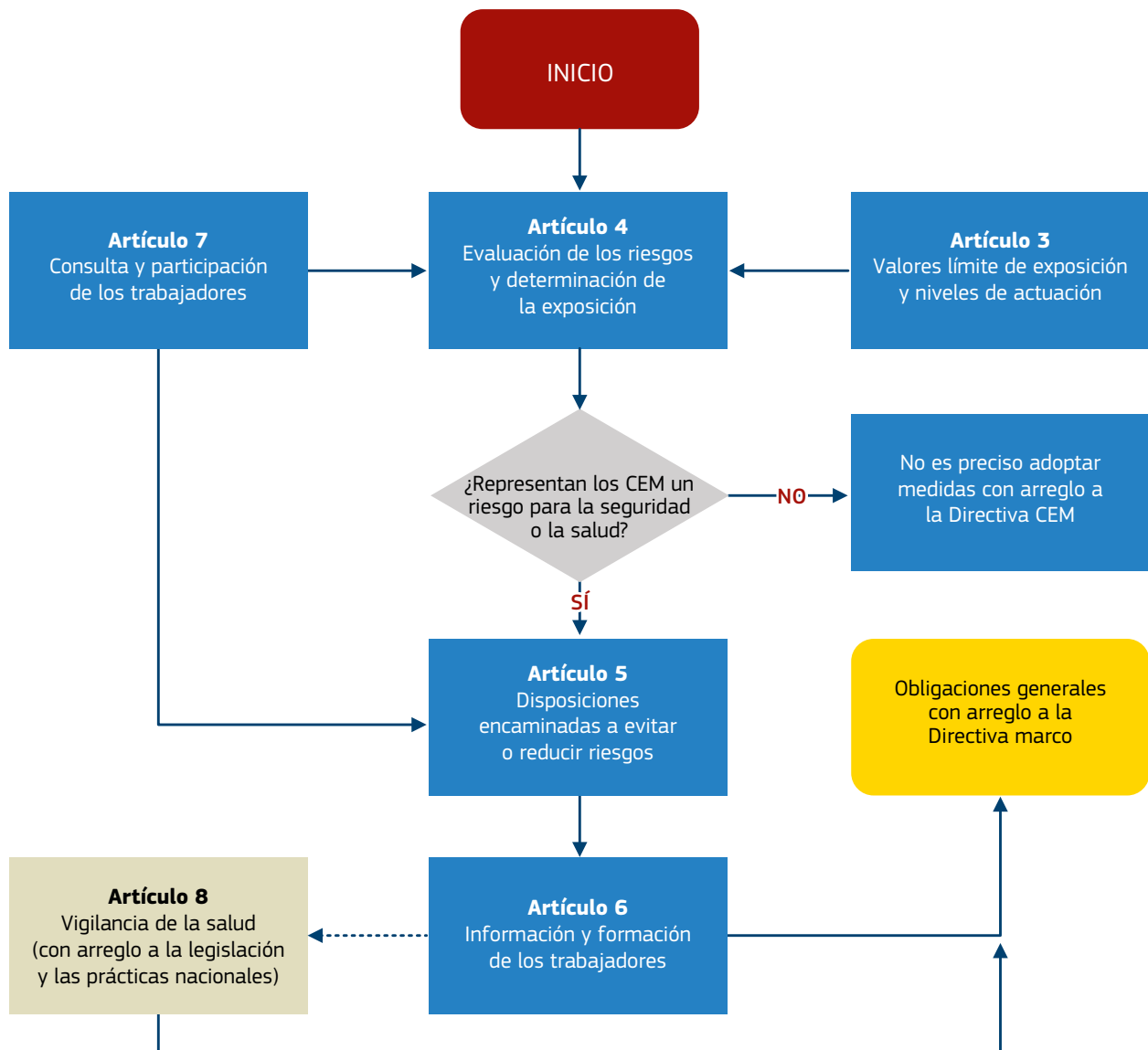
El Tratado de Roma (en la actualidad, el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea) establece el objetivo de fomentar mejoras en el entorno de trabajo en lo que respecta a la seguridad y la salud de los trabajadores. Para contribuir a la consecución de este objetivo, contempla la adopción de directivas que establezcan requisitos mínimos. En 1989, se adoptó la Directiva marco 89/391/CEE, que es la directiva general en este ámbito. La Directiva marco establece requisitos generales para la evaluación y la reducción de los riesgos, la preparación para emergencias, la información a los trabajadores, la participación y la formación, las obligaciones de los trabajadores y la vigilancia de la salud. También establece la adopción de directivas específicas que, básicamente, pormenoricen en mayor medida el modo de lograr los objetivos de la Directiva marco en situaciones concretas. La Directiva CEM es la vigésima de tales directivas específicas. En la figura 4.1 se ilustra el modo en que se inscribe en el marco legislativo general.

Figura 4.1. Representación esquemática del marco legislativo de la Directiva CEM



En la figura 4.2 se expone una visión general de los artículos principales de la Directiva CEM que son pertinentes para los empresarios y el modo en que aquellos interactúan entre sí.

Figura 4.2. Esquema que ilustra la interacción entre los artículos de la Directiva CEM



Como se ha explicado anteriormente, la Directiva CEM tiene por objeto ayudar a los empresarios a cumplir sus obligaciones con arreglo a la Directiva marco en cuanto a la situación específica del trabajo que entraña una exposición a campos electromagnéticos. De ello se desprende que muchas de las disposiciones de la Directiva CEM sean un reflejo de las de la Directiva marco, más general, de modo que ambas Directivas deben utilizarse conjuntamente. La principal prioridad de la Directiva CEM consiste en evaluar los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en el lugar de trabajo y posteriormente, si procede, adoptar medidas para reducirlos. No obstante, un resultado de la relación entre las dos Directivas consiste en que la mayoría de empresarios que ya cumple sus obligaciones con arreglo a la Directiva marco hallará que ha de hacer poco más para cumplir asimismo la Directiva CEM.

La Directiva CEM pretende introducir requisitos *mínimos* en materia de seguridad y salud referidos al trabajo con CEM. De conformidad con el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, los Estados miembros pueden optar por mantener su legislación vigente o bien adoptar nueva legislación que establezca unos requisitos más estrictos que los de la Directiva CEM.

4.1. Artículo 3: Valores límite de exposición y niveles de actuación

El artículo 3 limita la exposición máxima al establecer unos valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos sensoriales y para la salud. Estos se definen en los anexos II (efectos no térmicos) y III (efectos térmicos) de la Directiva CEM. Los VLE relacionados con los efectos para la salud deben cumplirse siempre. Sin embargo, es aceptable superar temporalmente los VLE asociados a los efectos sensoriales, en tanto se informe a los trabajadores y se adopten otras medidas especificadas en el artículo 3.



Mensaje clave: definiciones

Muchos de los términos empleados en la Directiva CEM se definen en el artículo 2. Sin embargo, ciertos términos, como «temporal» y «cuando se justifique» no se definen, por lo que pueden utilizarse de manera distinta en función del contexto. Si existen términos que no se definen explícitamente en la Directiva CEM, los Estados miembros los definirán durante la aplicación, bien en actos legislativos o por otros medios.

En la mayoría de los casos, los VLE se especifican en términos de magnitudes asociadas al interior del organismo que no pueden medirse directamente o calcularse sencillamente. Por este motivo, el artículo 3 introduce los niveles de actuación (NA), que se establecen en términos de magnitudes referidas a campos externos, que pueden averiguarse más fácilmente mediante medición o cálculo. Los NA se definen en los anexos II y III de la Directiva CEM. En tanto no se superen los NA, cabe suponer que la exposición se ceñirá a los VLE, por lo que no será necesaria una evaluación adicional. En ciertas circunstancias, puede ser aceptable superar ciertos NA y en el artículo 3 se establecen ciertas reglas al respecto.

La aplicación práctica de los NA y los VLE es complicada y se trata con más detalle en el capítulo 6 de la presente guía.

4.2. Artículo 4: Evaluación de los riesgos y determinación de la exposición

El primer paso para crear un lugar de trabajo más seguro consiste en evaluar los riesgos presentes. En el capítulo 5 de la presente guía se ofrece información adicional sobre la evaluación de los riesgos derivados de la exposición a CEM en el lugar de trabajo. Ello incluye un análisis de las cuestiones que deben tenerse en cuenta para satisfacer lo dispuesto en el artículo 4. Es importante señalar que no basta con demostrar el cumplimiento de los NA o los VLE, ya que ello puede no ser suficiente para proteger adecuadamente a los trabajadores con riesgos particulares o evitar riesgos para la seguridad derivados de efectos indirectos.

Al evaluar riesgos derivados de la exposición a CEM en el lugar de trabajo, es necesario comprender la naturaleza de los campos presentes. Por ello, el artículo 4 también exige a los empresarios identificar y evaluar los CEM en el lugar de trabajo. Sin embargo, también permite a los empresarios tener en cuenta la información facilitada por terceros y solo les exige evaluar los campos personalmente si no es posible demostrar el cumplimiento de otro modo.

La aceptabilidad del uso de datos facilitados por fabricantes o publicados en bases de datos de evaluaciones genéricas es importante, ya que para la mayoría de empresarios este será, con mucho, el modo más sencillo de evaluar los CEM presentes en el lugar de trabajo. El uso de la información facilitada por terceros se trata con mayor detalle en el capítulo 7 de la presente guía y se ilustra en varios casos prácticos en el volumen 2.

Incluso cuando es necesario que los empresarios evalúen personalmente los campos presentes, el artículo 4 les ofrece la opción de hacerlo mediante medición o cálculo. Esta flexibilidad les permite elegir el método más sencillo en su situación concreta. Hay múltiples factores que influyen en el planteamiento que se adopte y aquellos se tratan con mayor detalle en el capítulo 8 de la presente guía, mientras que en el apéndice D se ofrecen orientaciones adicionales.

4.3. Artículo 5: Disposiciones encaminadas a evitar o reducir riesgos

En tanto no se superen los NA y quepa excluir otros efectos, los empresarios no tendrán que emprender medidas adicionales aparte de garantizar que siguen cumpliendo sus obligaciones con arreglo a la Directiva marco. Ello incluirá un examen periódico de la evaluación de riesgos para garantizar que siga siendo pertinente.

En caso de superarse los NA, el empresario podría tratar de demostrar el cumplimiento de los VLE y la ausencia de otros riesgos para la seguridad derivados de la presencia de CEM, si es posible. No obstante, en muchos casos podría ser más sencillo y barato adoptar medidas para prevenir los riesgos que demostrar el cumplimiento de los VLE. Como sucede con otros aspectos de la Directiva CEM, los planteamientos generales de prevención y reducción de riesgos deben ceñirse a los de la Directiva marco. La mayoría de los empresarios contará con una serie de opciones posibles y las más adecuadas dependerán de su situación concreta. Los planteamientos comunes se tratan en el capítulo 9 de la presente guía, que incluye ciertas medidas relacionadas específicamente con los riesgos derivados de la exposición a CEM.

Como indica la sección 4.1, el artículo 3 permite la superación temporal de NA inferiores o VLE sensoriales, supeditada al cumplimiento de ciertas condiciones. En el artículo 5 se establecen las medidas de prevención que deben adoptarse en tales situaciones.

Aunque no se superen los NA, el empresario tendrá que considerar que ello podría no facilitar una protección adecuada a los trabajadores con riesgos particulares o no evitar los riesgos para la seguridad derivados de efectos indirectos. De nuevo, se dispone de diversas opciones para gestionar tales riesgos y estas se tratan pormenorizadamente en el capítulo 9.

4.4. Artículo 6: Información y formación de los trabajadores

Como sucede con otros aspectos de la Directiva, los requisitos del artículo 6 son, básicamente, similares a los artículos correspondientes de la Directiva marco. En caso de identificarse riesgos, deben facilitarse información y formación adecuadas. Sin embargo, se reconoce que numerosos trabajadores pueden no estar familiarizados con la naturaleza de los peligros asociados a los CEM, los posibles síntomas o conceptos tales como los VLE y los NA, por los que estos aspectos deben incluirse de manera específica en cualquier formación. Habrá que facilitar asimismo a los trabajadores información específica sobre los resultados de las evaluaciones en sus lugares de trabajo específicos.

Es asimismo importante que los riesgos se pongan en perspectiva. Los trabajadores deben ser conscientes de que muchas de las fuentes de campos electromagnéticos en el lugar de trabajo no suponen un riesgo para su seguridad o su salud. De hecho, buena parte de ellas, como los teléfonos móviles o los equipos de elevación, pueden contribuir a su bienestar al hacer su trabajo mucho más sencillo. El suministro de información y la formación se tratan con mayor detalle en el capítulo 9 de la presente guía.

4.5. Artículo 7: Consulta y participación de los trabajadores

El artículo 7 de la Directiva CEM se refiere directamente al artículo 11 de la Directiva marco.

4.6. Artículo 8: Vigilancia de la salud

El artículo 8 de la Directiva CEM se basa en las disposiciones del artículo 14 de la Directiva marco. Concretamente, los Estados miembros están facultados para adaptar tales disposiciones a los sistemas que tengan vigentes y, de este modo, es probable que la aplicación práctica de este artículo varíe en función del país de que se trate. En el artículo 11 de la presente guía se ofrecen ciertas orientaciones sobre la vigilancia de la salud.

4.7. Artículo 10: Excepciones

El artículo 10 contempla una excepción no discrecional y dos discrecionales. Una excepción es la flexibilización de una disposición legislativa. En este caso, significa que, en circunstancias concretas, los empresarios no tendrán que cumplir ciertos requisitos de la Directiva CEM, en tanto los trabajadores sigan gozando de una protección adecuada.

La excepción no discrecional se refiere a la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de imágenes por resonancia magnética (RM) para pacientes en el ámbito sanitario. Esta excepción permite que los niveles de exposición superen los VLE siempre que se satisfagan ciertas condiciones. Estas condiciones se tratan en el apéndice F de la presente guía, junto a las orientaciones a los empresarios referidas a cómo demostrar el cumplimiento.

La primera excepción discrecional permite a los Estados miembros autorizar el uso de un sistema de protección alternativo para el personal que trabaje en instalaciones militares o que participe en actividades militares, incluidos los ejercicios militares internacionales conjuntos. Esta excepción está supeditada a que se prevengan los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad.

La segunda excepción discrecional es de índole general y permite a los Estados miembros autorizar que se superen temporalmente los valores límite de exposición en sectores específicos o para actividades específicas y en determinadas circunstancias.

Las excepciones se tratan con mayor detalle en la sección 6.4 de la presente guía.

4.8. Resumen

La Directiva CEM tiene por objeto ayudar a los empresarios a cumplir las disposiciones de la Directiva marco con respecto a los riesgos específicos asociados a los CEM. La mayoría de los empresarios cumplirá ya sus obligaciones con arreglo a la Directiva marco y, con ello, satisfará sus responsabilidades con arreglo a la Directiva CEM. Sin embargo, en determinados lugares de trabajo donde los campos sean más intensos, los empresarios podrían verse obligados a llevar a cabo unas evaluaciones más detalladas y a introducir medidas de prevención adicionales para evitar o reducir los riesgos. Los empresarios también tendrán que facilitar información y formación a su personal, contar con la participación de los trabajadores en la gestión de riesgos y ceñirse a las prácticas nacionales en relación con la vigilancia de la salud.

La tomografía por resonancia magnética en el ámbito sanitario está sujeta a una excepción no discrecional. Otras excepciones permiten a los Estados miembros adoptar un sistema de protección alternativo para actividades militares o autorizar la superación temporal de los VLE en otros sectores, sujeta al cumplimiento de ciertas condiciones.

5. EVALUACIÓN DE RIESGOS EN EL CONTEXTO DE LA DIRECTIVA CEM

La evaluación de riesgos es un requisito fundamental de la Directiva marco y se recoge en el artículo 4 de la Directiva CEM. En este se introduce una serie de cuestiones específicas que deben tenerse en cuenta al evaluar los riesgos derivados de la exposición a CEM. Este capítulo ofrece orientación sobre el modo de abordar la evaluación de riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos. Cada empresario puede adaptar las recomendaciones de modo que se adecuen a sus sistemas de evaluación de riesgos en vigor.

En general, no existen unas normas fijas sobre cómo llevar a cabo una evaluación de riesgos, aunque siempre conviene consultarlo a las autoridades nacionales, en caso de que se impongan requisitos nacionales específicos. Los planteamientos estructurados de evaluación de riesgos son, por lo general, los más eficaces, ya que permiten la identificación sistemática de los peligros y de los trabajadores expuestos a ellos. Ello contribuye a garantizar que no se pasen por alto riesgos de manera inadvertida. La complejidad de la evaluación variará en función de la naturaleza de las tareas que vayan a evaluarse, aunque la experiencia recomienda que, en la mayoría de las situaciones, el procedimiento sea lo más sencillo posible.

Al igual que no hay normas fijas referidas a la realización de evaluaciones de riesgos, también la terminología empleada puede variar. En este capítulo se utilizan los términos y las definiciones recomendados por la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Términos y definiciones empleados en esta guía en relación con la evaluación de riesgos

Peligro	Propiedad o capacidad intrínseca de algo que tiene el potencial de causar daño.
Riesgo	Probabilidad de que el potencial de causar daño se haga realidad en las condiciones de uso y/o de exposición, y posible alcance del daño.
Evaluación de riesgos	Proceso de evaluación de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores mientras estos desempeñan su actividad, derivados de las circunstancias de la existencia de un peligro en el lugar de trabajo.

Una evaluación de riesgos completa deberá tener en cuenta todos los peligros asociados a la actividad de trabajo. Sin embargo, en la presente guía solo se tratan los peligros relacionados con los CEM. En los casos prácticos del volumen 2 de la presente guía se ofrecen varios ejemplos de evaluación de riesgos referida específicamente a los CEM. En relación con ciertas aplicaciones, el fabricante del producto facilitará información adecuada que permita concluir que el riesgo se está gestionando adecuadamente. Por lo tanto, el proceso de evaluación de riesgos no tiene por qué ser particularmente oneroso. La documentación de la evaluación debe conservarse con arreglo a la legislación y las prácticas nacionales.

La evaluación de riesgos es responsabilidad de la dirección, pero debe llevarse a cabo consultando a los trabajadores, a los que debe facilitarse información sobre sus resultados.

5.1. Plataforma Interactiva de Evaluación de Riesgos en Línea (OiRA)

iniciativa encaminada a asistir a las microempresas y pequeñas empresas, la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo desarrolló la Plataforma Interactiva de Evaluación de Riesgos en Línea (OiRA). La plataforma está alojada en un sitio web propio ([http:// www.oiraproject.eu](http://www.oiraproject.eu)) que da acceso a las herramientas OiRA. Estas son gratuitas y están concebidas para ayudar a los empresarios a implantar un proceso de evaluación de riesgos paso a paso. Al ser las herramientas sectoriales, ayudan a los empresarios a identificar los peligros más comunes en sus respectivos sectores.

El proceso OiRA consta de cuatro etapas principales, tal como se ilustra a continuación en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Etapas del proceso OiRA

Preparación	Esta etapa da una visión general de la evaluación que va a realizar usted y le permite adaptarla a la naturaleza específica de su empresa.
Identificación	OiRA le mostrará una serie de peligros potenciales o problemas relacionados con la seguridad y la salud en su lugar de trabajo. Al responder afirmativa o negativamente a las proposiciones o preguntas propuestas, estará seleccionando o excluyendo esos peligros o problemas. También puede dejar alguna pregunta en suspenso (sin contestar) y darle respuesta más adelante.
Evaluación	En esta etapa deberá determinar el nivel de riesgo asociado a cada uno de los puntos que haya identificado como «a tratar» en la etapa de «identificación».
Plan de acción	En la cuarta etapa de la evaluación deberá decidir las medidas que adoptará para abordar los riesgos identificados anteriormente, así como los recursos que necesita. Basándose en esta información, en la próxima etapa la herramienta elaborará automáticamente un informe.

Las orientaciones facilitadas a continuación son coherentes con el proceso OiRA, por lo que serán útiles para quienes hagan uso de las herramientas OiRA. Sin embargo, se reconoce que no todos los empresarios desearán utilizar las herramientas OiRA. Algunos de ellos podrían contar ya con sistemas de evaluación de riesgos, mientras que es posible que otros recurran a sistemas de gestión de la seguridad y la salud tales como OHSAS 18001. Las recomendaciones dadas en el presente capítulo tienen, pues, por objeto ser pertinentes en todas estas situaciones.

5.2. Paso 1: Preparación

El primer paso en cualquier evaluación de riesgos consiste en recoger información acerca de las actividades de trabajo, lo que incluye lo siguiente:

- descripción de las tareas de trabajo,
- quién lleva a cabo el trabajo,
- cómo se lleva a cabo el trabajo,
- qué equipo se utiliza para desempeñar las tareas de trabajo.

La consulta a los trabajadores y la observación de las actividades de trabajo son especialmente importantes en esta etapa. Cómo se desempeña una actividad en la práctica puede diferir de cómo debería llevarse a cabo en teoría.

También es importante garantizar que la evaluación se ocupe tanto de las actividades ordinarias como de las extraordinarias o intermitentes. Entre otras, cabe citar:

- limpieza,
- mantenimiento,
- revisión,
- reparación,
- instalaciones nuevas,
- puesta en servicio,
- desmantelamiento.

5.3. Paso 2: Identificación de peligros y de personas expuestas a riesgos

5.3.1. Identificación de peligros

El primer paso en pos de la identificación de los peligros relativos a los CEM consiste en identificar las actividades y los equipos que generan campos electromagnéticos en el lugar de trabajo. Será útil comparar esta lista con el cuadro 3.2 del capítulo 3 ya que, en muchos casos, la naturaleza de una actividad o el diseño de los equipos serán tales que solo se generarán campos débiles. Tales campos débiles no serán peligrosos, aunque se desempeñen múltiples actividades o haya diversos equipos próximos entre sí.

La Directiva CEM reconoce que ciertos lugares de trabajo abiertos al público han podido ser ya objeto de evaluación con arreglo a la Recomendación del Consejo relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (1999/519/CE). En tanto tales lugares de trabajo cumplan la Recomendación 1999/519/CE y quepa excluir la existencia de riesgos para la seguridad y la salud, no existe la obligación de efectuar ninguna evaluación adicional de la exposición a los mismos. Se considerará que tales circunstancias se cumplen si:

- los equipos destinados al uso público se emplean con arreglo a las indicaciones;
- los equipos se ajustan a unas directivas sobre productos que establecen unos niveles de seguridad más rigurosos que los establecidos en la Directiva CEM;
- no se emplean otros equipos.

El cuadro 3.2 del capítulo 3 también será útil para la identificación de actividades y equipos que es probable requieran una evaluación detallada.

Determinadas fuentes generarán unos campos más intensos no accesibles en usos normales debido a las cajas en que se alojen los equipos o al control de la entrada a las zonas de trabajo. En tales situaciones, será importante considerar si los trabajadores podrían tener acceso a campos intensos durante las actividades de mantenimiento, revisión o reparación.

Los fabricantes e instaladores de equipos tendrán que tener en cuenta que la puesta a prueba de equipos parcialmente montados podría dar lugar a que los trabajadores tengan acceso a campos intensos a los que, en circunstancias normales, no podrían acceder.

5.3.2. Identificación de medidas de prevención y precaución existentes

En la mayoría de los lugares de trabajo existirá ya una serie de medidas de prevención y precaución vigentes encaminadas a eliminar o reducir los riesgos en el lugar de trabajo. Tales medidas podrían haberse adoptado específicamente en relación con los campos electromagnéticos. En otros casos, podrían haberse adoptado en relación con otros peligros pero servir asimismo para restringir el acceso a los CEM.

Es, pues, importante identificar las medidas de prevención y precaución existentes como aportación al proceso de evaluación de riesgos.

5.3.3. Identificación de personas expuestas a riesgos

Es necesario identificar a quién podrían causar daño los peligros en cuestión. Para ello, es importante considerar a todos los trabajadores presentes en el lugar de trabajo. La identificación de quienes llevan a cabo actividades o utilizan equipos que generan campos magnéticos intensos debería ser sencilla. Sin embargo, es importante tener en cuenta a quienes desempeñan otras tareas o trabajan con otros equipos pero que también podrían verse expuestos a los campos. Por ejemplo, la evaluación de los campos generados por un equipo de soldadura por puntos de banco en el caso práctico referido a un taller de fabricación (volumen 2 de la presente guía) indica que la intensidad del campo no es máxima en la posición que ocupa el operario sino a lo largo del propio equipo. Si el equipo de soldadura se halla contiguo a una zona de paso, otros trabajadores que transiten por ella podrían verse expuestos a campos más intensos que el operario.

También es importante tener en cuenta los riesgos a los que se exponen las personas que no son empleados directos pero que pueden estar presentes en él. Entre ellas cabría incluir visitantes, técnicos de revisión, otros contratistas y repartidores.

5.3.4. Trabajadores con riesgos particulares

Existe la obligación de tener en cuenta a los trabajadores que pueden verse expuestos a riesgos particulares y la Directiva CEM identifica específicamente cuatro grupos pertenecientes a esta categoría (véase el cuadro 3.1 para obtener información adicional):

- trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos;
- trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados pasivos;
- trabajadores que llevan en el cuerpo dispositivos médicos;
- trabajadoras embarazadas.

Los trabajadores que pertenecen a alguno de estos grupos pueden verse expuestos a mayores riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos que la población trabajadora general y deben ser objeto de una evaluación de riesgos específica (véase la sección 5.4.1.3 *infra*). En ocasiones, esta puede concluir que el riesgo sigue siendo tolerable, pero en otros casos puede ser necesario adaptar sus condiciones de trabajo para reducir el riesgo.

5.4. Paso 3: Evaluar y priorizar los riesgos

5.4.1. Evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo puede entrañar diversos grados de complejidad, desde un simple juicio de si un riesgo es bajo, medio o alto, hasta un análisis de índole cuantitativa. La simple evaluación será normalmente adecuada en casos en que los campos sean de nivel bajo, tales como los referidos a actividades y equipos a los que corresponde una respuesta «No» en *todas* las columnas del cuadro 3.2. Sin embargo, donde quepa prever una intensidad mayor de los campos, es probable que la evaluación sea más compleja y entrañe un elemento de evaluación cuantitativa para determinar la magnitud de cualquier peligro.

La evaluación del riesgo debe tener en cuenta tanto la gravedad de un incidente peligroso como la probabilidad de que se produzca.

El índice de gravedad debe reflejar las consecuencias previstas del incidente peligroso. La interacción de los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo puede dar lugar a una serie de resultados posibles de gravedad diversa. A continuación se ofrecen ejemplos de resultados y niveles de gravedad posibles. En la práctica, la asignación del nivel de gravedad será una cuestión que juzgue el evaluador y se verá influida por la intensidad del campo accesible y por otras circunstancias locales.

Cuadro 5.3. Ejemplos de posibles resultados y niveles de gravedad derivados de las interacciones de CEM en el lugar de trabajo

Resultado	Gravedad
Sensaciones de vértigo y náuseas Percepción de destellos (fosfenos retinianos) Sensación de cosquilleo o dolor (estimulación nerviosa) Pequeño aumento de la temperatura de los tejidos Efecto auditivo por microondas	Leve
Movimiento de proyectiles ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos Interferencia con dispositivos médicos implantados Gran aumento de la temperatura de los tejidos	Grave
Ignición de ambientes inflamables Activación de detonadores	Mortal

La evaluación de la probabilidad deberá tener en cuenta una serie de factores, como el acceso al campo y la naturaleza de las tareas llevadas a cabo. A menudo, el acceso a campos de gran intensidad está restringido por otros motivos, tales como los peligros mecánicos o eléctricos. En tales circunstancias, no será necesario adoptar restricciones adicionales. Igualmente, la evaluación de la probabilidad debe tener en cuenta el proceso de trabajo. Por ejemplo, un horno de inducción puede funcionar a máxima potencia durante la fase de calentamiento inicial, pero los trabajadores no suelen estar próximos al horno durante esta primera parte del ciclo. Más adelante, una vez se ha fundido la carga, el horno puede funcionar con una potencia menor, de manera que los campos serán mucho más débiles.

La evaluación del riesgo deberá tener en cuenta cualesquiera medidas de prevención y precaución existentes (véase la sección 5.3.2).

Los campos electromagnéticos pueden dar lugar a riesgos por interacciones tanto directas como indirectas y tales riesgos deben evaluarse por separado. Además, ciertos trabajadores pueden estar expuestos a riesgos particulares (véase la sección 5.3.4 *supra*) y estos riesgos tendrán que evaluarse de manera específica.



Mensaje clave: evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo no tiene por qué ser compleja y los empresarios pueden recurrir al cuadro 3.2, que les ayudará a decidir qué nivel de detalle es necesario. La evaluación debe tener en cuenta tanto la gravedad del incidente peligroso como la probabilidad de que se produzca.

5.4.1.1. Efectos directos

La evaluación de riesgos derivados de las interacciones directas de campos electromagnéticos con los trabajadores deberá tener en cuenta las características de los campos accesibles. Los principales factores que afectan a la magnitud de cualquier peligro son la frecuencia o las frecuencias presentes y la intensidad del campo. Sin embargo, otros factores, tales como la forma de onda, la uniformidad espacial y los cambios en la intensidad de campo a lo largo del tiempo también pueden ser importantes.

La clave de este aspecto de la evaluación consiste en determinar si los trabajadores podrían verse expuestos por encima de los VLE (véase el capítulo 6). En los casos en que no puedan superarse los valores límite de exposición, no existirá el peligro de que se produzcan efectos directos.

En general, en el caso de los campos variables a lo largo del tiempo con frecuencias de entre 1 y 6 GHz, los VLE no pueden medirse o calcularse fácilmente, por lo que la mayoría de los empresarios considerará más conveniente evaluar si los campos accesibles superan los niveles de actuación (NA) de los efectos directos. Si no se superan los NA, tampoco podrán superarse los VLE.

La Directiva CEM no exige a los empresarios efectuar cálculos o mediciones para determinar que no se superan los niveles de actuación, a menos que esta información no esté disponible a través de ningún otro cauce. Muchos empresarios habrán cumplimentado con un «No» las tres columnas del cuadro 3.2. De ser así, no se superarán los niveles de actuación aunque se desempeñen múltiples actividades o haya diversos equipos próximos entre sí. Aunque las actividades o los equipos no consten en el cuadro 3.2, la información que confirme que no se superan los niveles de actuación puede estar disponible a través de otras fuentes (véase el capítulo 7).

En caso de que los empresarios no puedan demostrar el cumplimiento de los NA o los VLE a través de información fácilmente disponible, podrán bien llevar a cabo una evaluación más detallada (véase el capítulo 8) o bien considerar la conveniencia de adoptar medidas de restricción del acceso a los campos (véase el capítulo 9).

5.4.1.2. Efectos indirectos

Los campos electromagnéticos pueden generar riesgos para la seguridad y la salud a través de la interacción con objetos presentes en el campo. La Directiva CEM exige que tales riesgos también se evalúen, si bien por separado de los riesgos derivados de los efectos directos.

La Directiva CEM identifica una serie de efectos indirectos que podrían tener que evaluarse:

- interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos (incluidos los marcapasos cardíacos y otros implantes o dispositivos médicos corporales);
- riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos;
- activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores);

- incendios y explosiones resultantes del encendido de materiales inflamables debido a chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas de chispas;
- corrientes de contacto.

Muchos de estos efectos indirectos solo se darán en situaciones específicas y, por consiguiente, para la mayoría de los empresarios el primer paso consistirá en considerar si es posible que tales riesgos se produzcan en absoluto en su lugar de trabajo.

La Directiva CEM especifica NA con objeto de ayudar a los empresarios a evaluar los riesgos relativos a dos de estos efectos indirectos: riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos y corrientes de contacto. De no superarse los NA, el riesgo será bajo, por lo que no será necesario adoptar medidas de prevención o precaución.

En cuanto al resto de efectos indirectos, no hay NA, pero las normas europeas ofrecen orientación adicional sobre la evaluación de riesgos. Este punto se trata con más detalle en el apéndice E de la presente guía.

5.4.1.3. Trabajadores con riesgos particulares

En el caso de los trabajadores con riesgos particulares (véase el cuadro 3.1), la evaluación suele ser más complicada. Los NA de los efectos directos pueden no brindar una protección adecuada para estos trabajadores, por lo que es necesaria una evaluación aparte.

Los trabajadores con implantes médicos o que llevan en el cuerpo dispositivos médicos pueden haber recibido información específica en materia de intensidades de campo seguras. De ser así, esta información ofrecerá criterios de evaluación y deberá primar sobre cualquier información de índole más general de la que se pueda disponer. Por ejemplo, la evaluación en relación con una persona que lleva un marcapasos en el caso práctico sobre dispositivos de plasma por RF (volumen 2) recurre a los datos del fabricante.

De no disponerse de información específica en relación con implantes médicos o dispositivos médicos corporales o con las trabajadoras embarazadas, los empresarios deben remitirse a las orientaciones dadas en el apéndice E de la presente guía.



Mensaje clave: asuntos que hay que considerar

A la hora de efectuar una evaluación de riesgos derivados de la exposición a CEM, los empresarios deben considerar los riesgos derivados de los efectos directos e indirectos. Determinados trabajadores podrían verse expuestos a riesgos particulares relacionados con la presencia de CEM (véase el cuadro 3.1), lo que debería tenerse en cuenta.

5.5. Paso 4: Decidir la adopción de medidas de prevención

Si se identifican riesgos, el primer paso consistirá en preguntarse si es posible eliminarlos. ¿Sería posible reducir la intensidad del campo hasta un nivel que no represente un riesgo o es posible impedir el acceso al campo?

De ser posible, las decisiones sobre medidas de prevención deben adoptarse en las etapas de diseño o de adquisición de nuevos procesos o equipos.

En el capítulo 9 de la presente guía se facilitan orientaciones sobre las medidas de prevención y de protección que pueden adoptarse para reducir al mínimo los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos. La protección colectiva siempre debe primar sobre la protección personal.

5.6. Paso 5: Empezar medidas

Si es necesario empezar medidas, será importante priorizar la adopción de medidas de prevención o de protección. Normalmente, debe concederse prioridad sobre la base de la magnitud del riesgo y la gravedad de las consecuencias de que suceda un incidente peligroso. Podría no ser viable aplicar de inmediato todas las nuevas medidas. En esa situación, habrá que juzgar si es posible aplicar ciertas medidas temporales que permitan seguir trabajando hasta que se apliquen las medidas de prevención permanentes. Como alternativa, puede decidirse detener el trabajo hasta que las nuevas medidas estén en vigor.

5.7. Documentación de la evaluación de riesgos

Es importante registrar los resultados de la evaluación de riesgos. Se deben identificar los elementos principales de la evaluación de riesgos, incluidos los peligros identificados, los trabajadores expuestos a riesgos potenciales y los resultados de la evaluación. En caso de haberse identificado a trabajadores con riesgos particulares, esta circunstancia también debe registrarse. Los requisitos de cualquier nueva medida de prevención o precaución deben documentarse, junto al régimen referido a la revisión posterior de la evaluación.

5.8. Seguimiento y revisión de la evaluación de riesgos

Es importante revisar periódicamente la evaluación de riesgos, al objeto de determinar si ha sido adecuada y si las medidas de prevención o protección han sido eficaces. Esta revisión debe tener en cuenta los resultados de cualesquiera exámenes rutinarios de los equipos, ya que cualquier deterioro podría afectar a las conclusiones de la evaluación de riesgos. También es fundamental revisar la evaluación de riesgos si se cambian los equipos empleados o se modifican las prácticas de trabajo.

Los empresarios deben recordar asimismo que también puede cambiar la situación de los trabajadores. Por ejemplo, a un trabajador podría instalársele un implante médico o una trabajadora puede quedarse embarazada. Un cambio tal debe motivar una revisión de la evaluación de riesgos para determinar si esta sigue siendo adecuada.

Si los trabajadores se ven expuestos temporalmente a campos magnéticos que superan el NA inferior (cuadro B2 del anexo II de la Directiva CEM) o cualquiera de los VLE sensoriales, podrían experimentar síntomas transitorios. Entre estos síntomas cabe incluir:

- vértigo o náuseas derivados de la exposición a campos magnéticos estáticos y de baja frecuencia;
- percepciones sensoriales tales como destellos (fosfenos retinianos) o cambios leves de la función cerebral derivados de la exposición a CEM de baja frecuencia;
- percepciones sensoriales tales como efectos auditivos por microondas derivados de la exposición a campos de radiofrecuencia pulsátiles en condiciones específicas (véase la sección B5).

Si los trabajadores acusan tales síntomas, el empresario deberá revisar y, si es necesario, actualizar la evaluación de riesgos. Ello puede dar lugar a la selección de medidas de prevención o de protección adicionales.

Sección 3

EVALUACIONES DEL CUMPLIMIENTO

6. USO DE VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN Y NIVELES DE ACTUACIÓN

Como se ha indicado en el capítulo 2, la exposición a campos electromagnéticos puede producir diversos efectos dependiendo de la frecuencia. De este modo, la Directiva CEM establece unos valores límite de exposición (VLE) relativos a:

- efectos no térmicos (0-10 MHz) en el anexo II;
- efectos térmicos (100 kHz-300 GHz) en el anexo III.

De esto se desprende que suele ser necesario conocer la frecuencia (o frecuencias) del campo electromagnético antes de poder seleccionar el VLE correcto. Como puede verse, los dos intervalos se solapan. Por ello, en el intervalo de frecuencias intermedio (100 kHz-10 MHz), pueden producirse efectos térmicos y no térmicos, por lo que habría que considerar ambos VLE.

Para las frecuencias entre 1 Hz y 6 GHz, los VLE se definen con arreglo a magnitudes dentro del cuerpo que no pueden medirse o calcularse fácilmente. Por este motivo, la Directiva CEM también establece unos niveles de actuación (NA) que se expresan en términos de magnitudes relativas a campos externos que pueden medirse o calcularse con relativa facilidad. Estos NA se derivan de los VLE y se basan en supuestos conservadores, de manera que el cumplimiento del NA pertinente siempre garantizará el cumplimiento del VLE correspondiente. No obstante, es posible superar un NA y seguir cumpliendo el VLE. Esta circunstancia se trata con mayor detalle en la sección 6.1. En la figura 6.1 se ilustra el proceso para decidir si se evalúa el cumplimiento conforme a los NA o a los VLE.

La comparación con las NA o VLE se integra en el proceso de evaluación de riesgos. De no poderse demostrar el cumplimiento de los NA, los empresarios podrán decidir si, en lugar de ello, evalúan con arreglo a los VLE. No obstante, una evaluación tal es probable que sea más compleja y, consiguientemente, más cara. En muchos casos, puede ser posible adoptar medidas adicionales para lograr el cumplimiento de los NA o de los VLE. Una vez que el empresario haya demostrado el cumplimiento o agotado todas las opciones viables para la adopción de medidas adicionales, deberá continuar con el proceso de evaluación de riesgos (véase el capítulo 5).

La evaluación completa de la exposición de los trabajadores y la comparación con los VLE pueden ser complejas y quedar fuera del ámbito de aplicación de la guía. En el apéndice D de la presente guía se ofrece información adicional sobre las evaluaciones. Sin embargo, el propósito principal de la información presentada en este capítulo consiste en explicar cómo funciona en la práctica el sistema de los VLE y los NA, de manera que los empresarios puedan decidir si se encargan personalmente de la evaluación o si buscan asistencia especializada.

La Directiva define una serie de NA distintos que pueden aplicarse simultáneamente. Los NA se relacionan con efectos directos o indirectos. A bajas frecuencias, los campos eléctricos y magnéticos pueden considerarse independientes (la denominada aproximación cuasiestática) y ambos inducen campos eléctricos en el cuerpo. Así pues, a bajas frecuencias se aplican NA a campos eléctricos y magnéticos. También se aplican NA referidos a la corriente de contacto.

A medida que va aumentando la frecuencia, los campos se acoplan más estrechamente y la interacción con el cuerpo cambia, lo que da lugar a una acumulación de energía que produce efectos térmicos. Para estas frecuencias, se aplican NA a campos eléctricos y

magnéticos. A frecuencias superiores a 6 GHz, se aplica un NA adicional referido a la densidad de potencia, que se relaciona con las intensidades tanto del campo eléctrico como del magnético. También se aplican NA a las corrientes en las extremidades, que también se relacionan con los efectos térmicos, y a las corrientes de contacto. El sistema de NA se ilustra en la figura 6.2.

Figura 6.1. Proceso para decidir si se evalúa el cumplimiento conforme a los NA o a los VLE

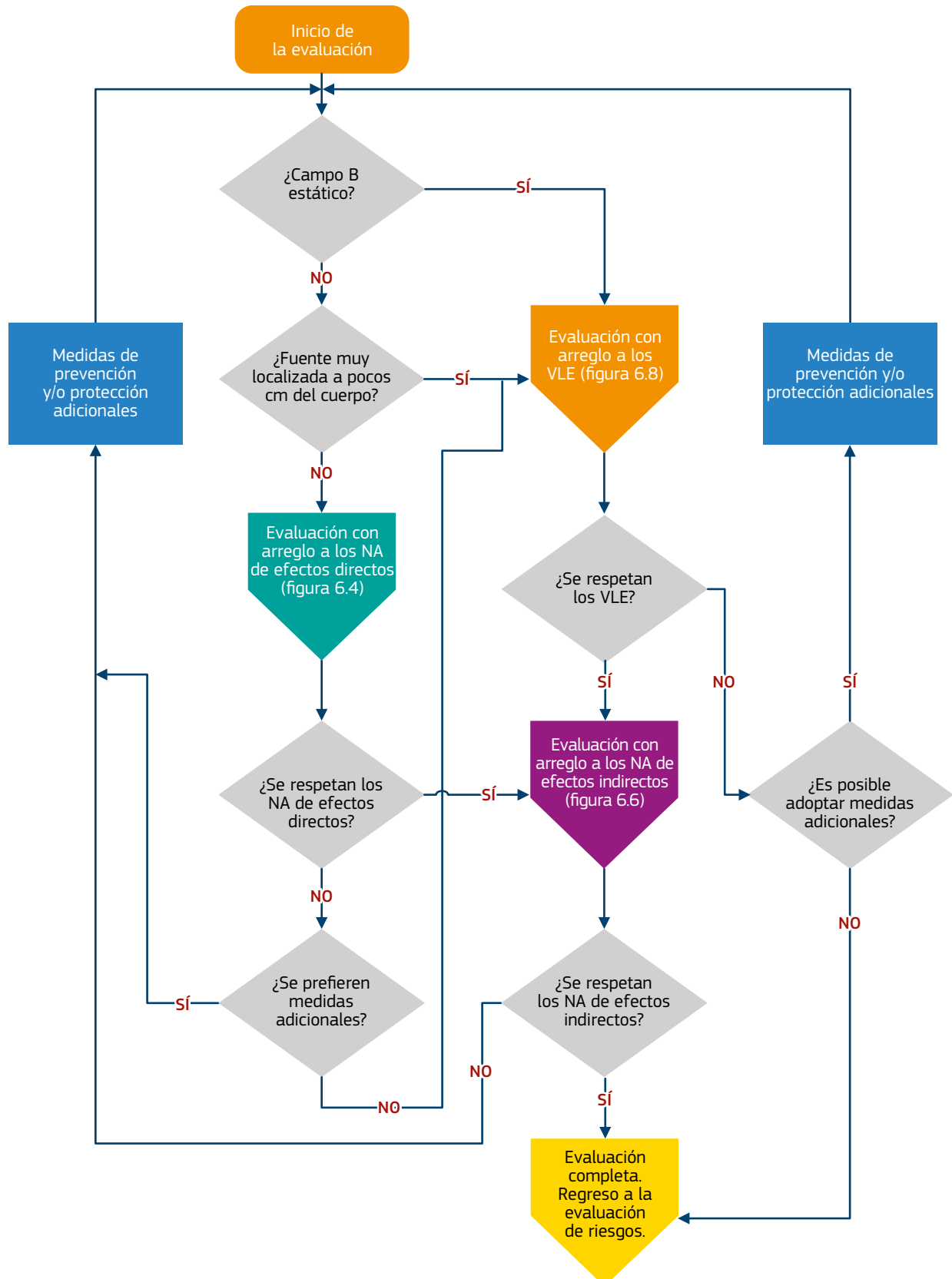
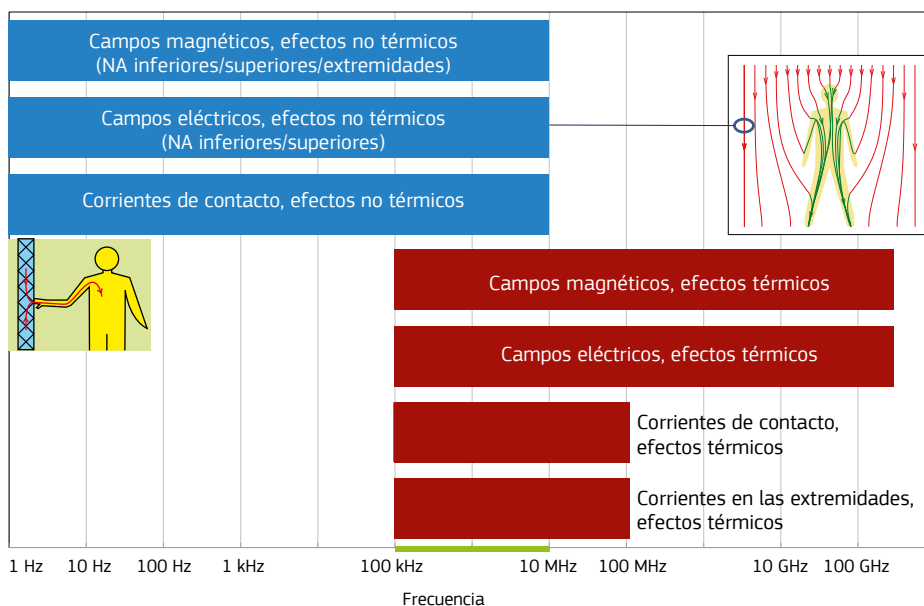


Figura 6.2. Intervalos de frecuencias a los que se aplican distintos NA



Las barras azules indican efectos no térmicos y las barras rojas, efectos térmicos. En el intervalo de frecuencias que se destaca en color verde será necesario el cumplimiento en relación tanto con los efectos no térmicos (campo eléctrico, campo magnético y corrientes de contacto) como con los efectos térmicos (campo eléctrico y magnético).

Los VLE y los NA asociados se basan en las directrices publicadas por la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, por sus siglas en inglés). En tales directrices puede obtenerse información adicional sobre las causas subyacentes. Pueden consultarse en el sitio web: www.icnirp.org (véase el apartado de Recursos en el apéndice I).

La Directiva CEM exige a los Estados miembros que incorporen los VLE a su legislación nacional, por lo que los empresarios están jurídicamente obligados a cumplirlos. La Directiva CEM incluye disposiciones que permiten la revisión de los NA por la Comisión en caso de necesidad.



Mensaje clave: valores límite de exposición y niveles de actuación

Para la mayoría de los empresarios será más sencillo demostrar el cumplimiento de los niveles de actuación en lugar del de los valores límite de exposición, aunque las distancias de cumplimiento podrán ser mayores para los primeros que para los últimos. También se indican niveles de actuación relativos a algunos efectos indirectos, aunque no a todos. Los niveles de actuación y los valores límite de exposición no brindarán, por lo general, protección suficiente a los trabajadores con riesgos particulares.

6.1. Niveles de actuación relativos a efectos directos

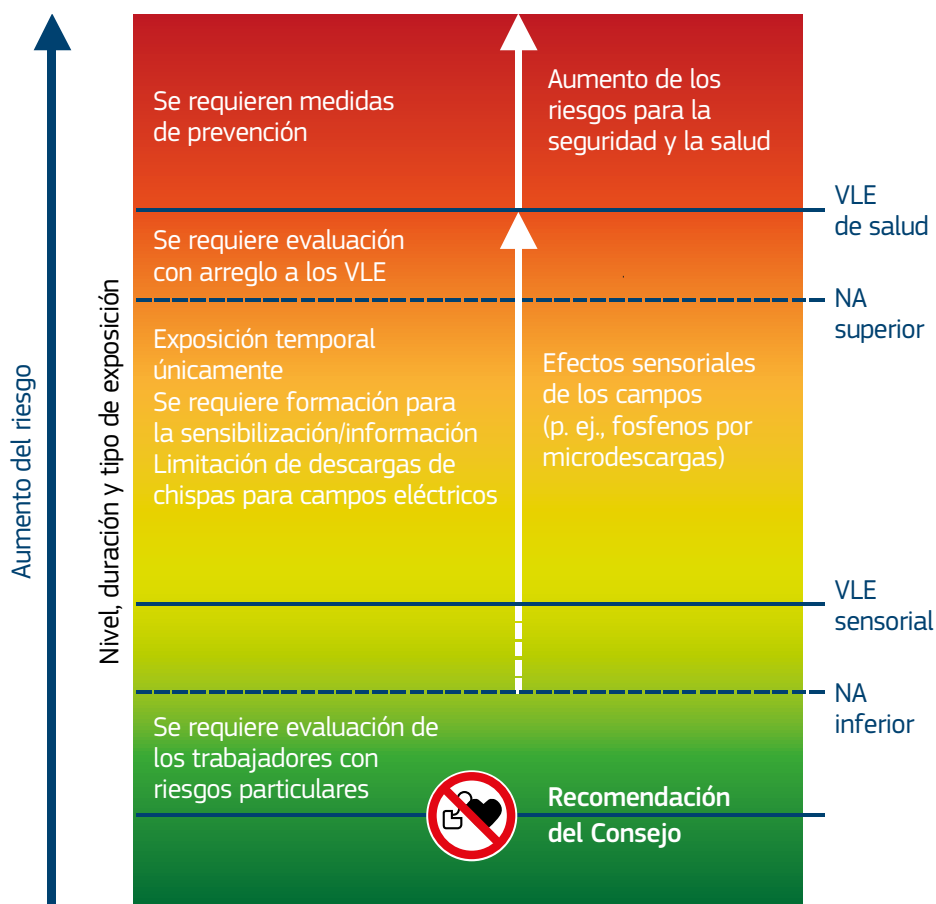
Como se ha indicado, los NA relativos a efectos directos se derivan de los VLE correspondientes mediante el uso de programas informáticos de modelado y sobre la base del supuesto más desfavorable referido a las interacciones. De este modo, el cumplimiento del NA garantizará el respeto del VLE correspondiente. Sin embargo, en numerosas situaciones será posible superar el NA y seguir respetando el VLE correspondiente. La relación entre el NA y el VLE se ilustra en la figura 6.3. Para la mayoría de los empresarios y en la mayoría de las situaciones, los NA relativos a los efectos directos ofrecen una vía relativamente sencilla para demostrar el cumplimiento de los VLE correspondientes.

Todos los NA se especifican para campos no perturbados por la presencia del cuerpo del trabajador.

Si no es posible demostrar el cumplimiento de los NA, los empresarios tendrán la opción bien de adoptar medidas de protección y prevención o bien de evaluar directamente el cumplimiento de los VLE. A la hora de adoptar esta decisión, los empresarios tendrán que considerar que el resultado de la evaluación con arreglo a los VLE puede seguir siendo la necesidad de adoptar medidas de protección y prevención.

El proceso para la selección de niveles de actuación relativos a efectos directos se ilustra en el diagrama de flujo de la figura 6.4.

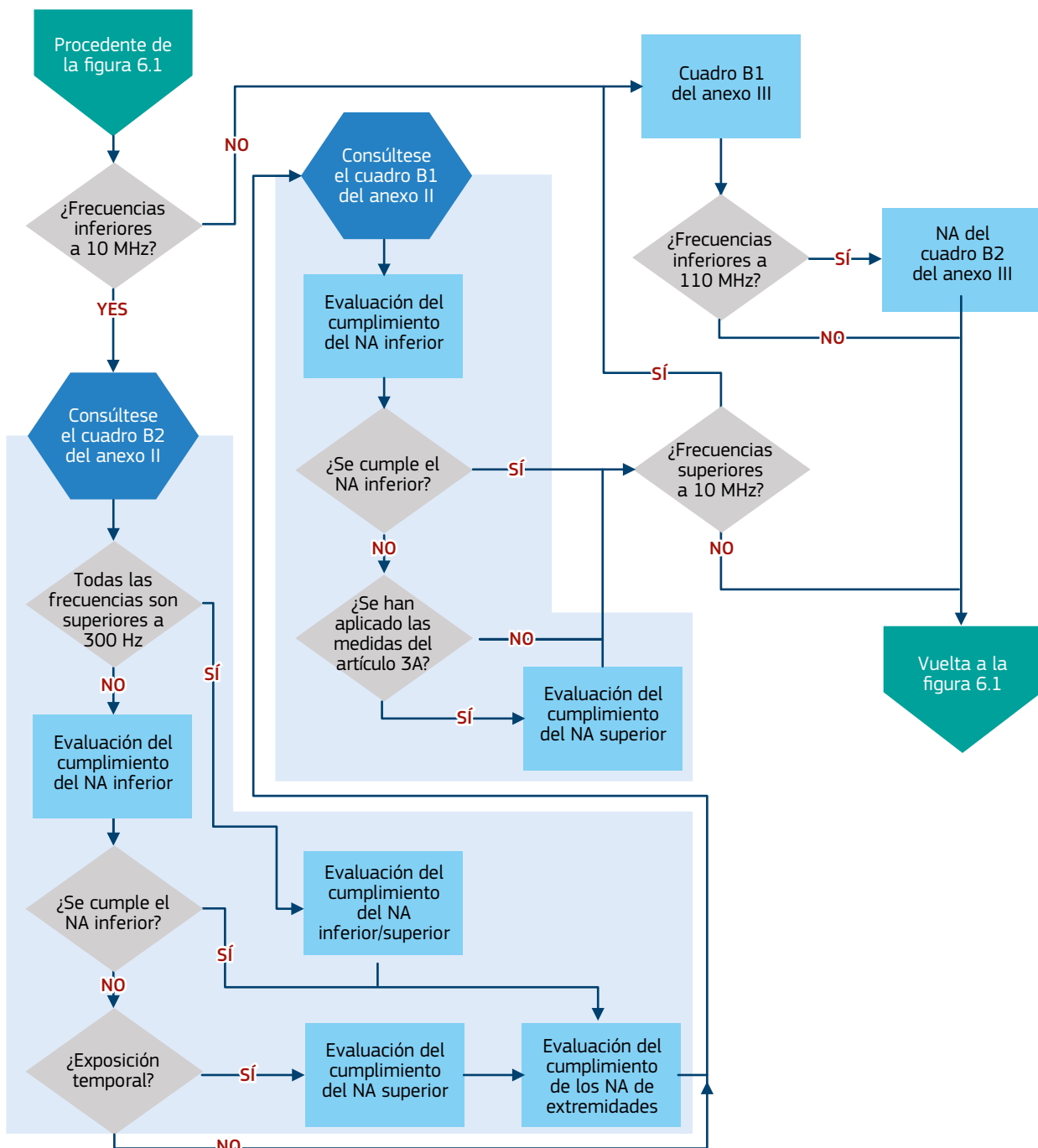
Figura 6.3. Esquema que ilustra la relación entre los valores límite de exposición y los niveles de actuación



6.1.1. Niveles de actuación relativos a campos eléctricos (1 Hz-10 MHz)

La Directiva CEM define dos NA para los campos eléctricos de baja frecuencia: inferior y superior. El concepto de NA inferior y superior se ilustra en la figura 6.3, *supra*. El respeto del NA inferior garantizará que no se supere ninguno de los VLE aplicables y evitará asimismo descargas de chispas molestas en el entorno de trabajo.

Figura 6.4. Diagrama de flujo para la selección de NA relativos a efectos directos («anexo» hace referencia a los anexos de la Directiva sobre campos electromagnéticos)



En tanto las intensidades de los campos eléctricos no superen el NA inferior, no se superará ninguno de los VLE aplicables. Sin embargo, si las intensidades de los campos eléctricos superan el NA inferior, el cumplimiento del NA superior no bastará por sí solo para evitar que se produzcan descargas de chispas molestas. Por lo tanto, en

esta situación será necesario adoptar medidas técnicas, organizativas y, si procede, de protección personal adicionales para limitar las descargas de chispas.

6.1.2. Niveles de actuación relativos a campos magnéticos (1 Hz-10 MHz)

La Directiva CEM define tres NA para los campos magnéticos de baja frecuencia: inferior, superior y de extremidades.

Los NA inferiores se derivan de los VLE relacionados con efectos sensoriales (véase la sección 6.3.1), de modo que su cumplimiento garantice el respeto de los VLE referidos tanto a los efectos sensoriales como a los efectos en la salud. Los NA inferiores tienen los mismos valores que los NA superiores relativos a frecuencias por encima de 300 Hz.

El cumplimiento de los NA superiores garantizará el respeto de los VLE relacionados con los efectos en la salud, de los que se derivan, pero no garantizará el respeto de los VLE relacionados con efectos sensoriales a frecuencias inferiores a 300 Hz. La Directiva CEM permite la superación de los NA inferiores, siempre que pueda demostrarse bien que no se superan los VLE relacionados con efectos sensoriales o bien que, si se superan, ello solo sucede de manera temporal. Sin embargo, no deben superarse los VLE relacionados con efectos en la salud. Además, se debe informar a los trabajadores sobre posibles síntomas y sensaciones transitorios. Si se da parte de la aparición de síntomas transitorios, el empresario adoptará, si es necesario, medidas para actualizar la evaluación de riesgos y las medidas de prevención.

El cumplimiento de los NA de extremidades garantizará el cumplimiento de los VLE relacionados con efectos en la salud, de los que se derivan. Los NA de extremidades tienen en cuenta un acoplamiento más débil de los campos a las extremidades y son, consiguientemente, menos restrictivos que los NA superiores. El uso de los NA de extremidades solo estaría justificado en caso de que la exposición del cuerpo a un campo de la misma intensidad sea improbable. De este modo, su uso estaría justificado en el caso de un trabajador que sostiene una herramienta que genera CEM, pero no si la herramienta se sostiene próxima al cuerpo durante su funcionamiento (figura 6.5). Al llevarse a cabo la evaluación de la exposición de las extremidades con arreglo al nivel de actuación correspondiente, la práctica normal consistirá en evaluar asimismo la exposición del cuerpo con arreglo a los NA inferiores o superiores, según proceda.

Figura 6.5. Trabajador que sostiene una herramienta eléctrica próxima al cuerpo. En esta situación, la exposición del cuerpo y de las extremidades será similar y se limitará con arreglo al cumplimiento de los NA superiores/inferiores.



6.1.3. Niveles de actuación relativos a campos eléctricos y magnéticos (100 kHz–300 GHz)

A frecuencias de entre 100 kHz y 6 GHz, la Directiva CEM define NA relativos a la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético, que se derivan de los VLE relacionados con efectos en la salud. Puesto que los VLE correspondientes son valores medios a lo largo del tiempo, el cuadrado del NA debe promediarse a lo largo de un período de seis minutos.

A frecuencias superiores a 6 GHz, la Directiva CEM define NA relativos a la intensidad de campo eléctrico, la densidad de flujo magnético y la densidad de potencia. El NA relativo a la densidad de potencia debe promediarse sobre una superficie expuesta de 20 cm², en tanto las densidades de potencia máxima espacial promediadas para una superficie de 1 cm² no sean superiores a 20 veces el valor de los NA (S). Los NA relativos a la densidad de potencia también se promedian en el tiempo a lo largo de un período cualquiera de seis minutos para frecuencias de hasta 10 GHz y a lo largo de un período de tiempo de $68/f^{1.05}$ minutos (en el que «f» es la frecuencia expresada en GHz) en caso de frecuencias superiores. Más allá, el período de promediación se reduce con el aumento de la frecuencia, lo que refleja la reducción progresiva de la profundidad de penetración.

A frecuencias superiores a 6 GHz, los NA relativos a la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético se derivan de los VLE relativos a la densidad de potencia. Por consiguiente, aunque ello no se indique explícitamente en la Directiva CEM, por mor de la coherencia, las condiciones de promedio espacial y temporal de los NA (S) también deben aplicarse a los $[NA(E)]^2$ y $[NA(B)]^2$ a frecuencias superiores a 6 GHz.

6.1.4. Niveles de actuación referidos a la exposición a corrientes de extremidades (10–110 MHz)

La Directiva CEM especifica unos NA referidos a la magnitud de la corriente de radiofrecuencia inducida en las extremidades de un trabajador expuesto a un campo de radiofrecuencia. Puesto que este NA se relaciona con el calentamiento de los tejidos, el cuadrado del NA debe promediarse a lo largo de un período de seis minutos.

6.2. Niveles de actuación relativos a efectos indirectos

La Directiva CEM especifica NA para ofrecer protección frente a ciertos efectos indirectos asociados a los CEM. El proceso para la selección de niveles de actuación relativos a efectos indirectos se ilustra en el diagrama de flujo de la figura 6.6.

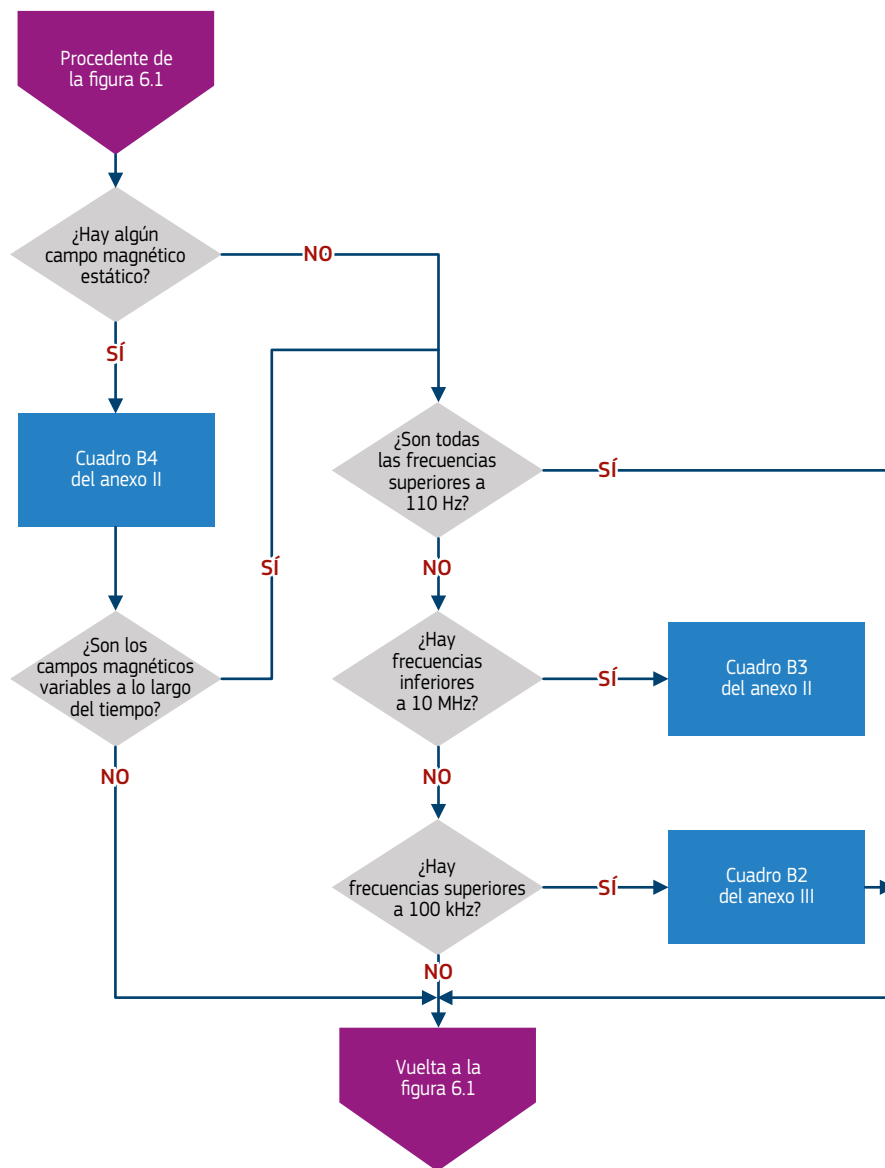
6.2.1. Niveles de actuación relativos a campos magnéticos estáticos

Se especifica un NA de 0,5 mT para limitar las interferencias con el funcionamiento de dispositivos médicos implantados activos. La Directiva CEM también establece un NA de 3 mT para limitar el riesgo de proyección en campos periféricos de fuentes de campos intensos (> 100 mT).

6.2.2. Niveles de actuación relativos a corrientes de contacto (hasta 110 MHz)

La Directiva CEM especifica NA para las corrientes de contacto en estado estacionario al objeto de limitar el riesgo de descargas eléctricas y quemaduras cuando una persona toca un objeto conductor dentro de un campo mientras que solo la primera o solo el objeto mantiene contacto con tierra.

Figura 6.6. Diagrama de flujo para la selección de NA relativos a efectos indirectos («anexo» hace referencia a los anexos de la Directiva sobre campos electromagnéticos)



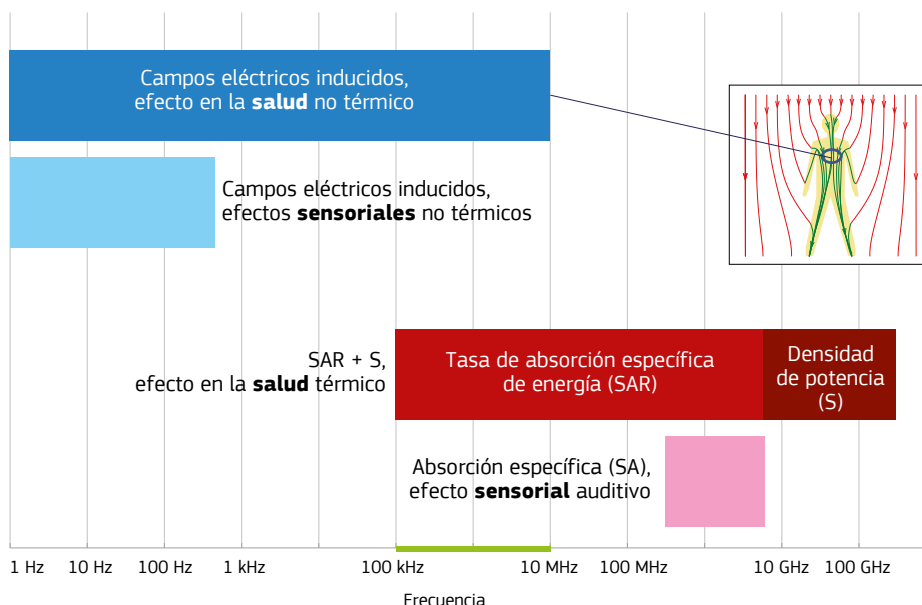
6.3. Valores límite de exposición

6.3.1. Valores límite de exposición relacionados con efectos en la salud y con efectos sensoriales

La Directiva CEM define VLE independientes relacionados con efectos en la salud y con efectos sensoriales (figura 6.7). Los VLE relacionados con efectos sensoriales solo se aplican a unos intervalos de frecuencia determinados (0-400 Hz y 0,3-6 GHz). A bajas frecuencias, la percepción del campo se produce a niveles de exposición inferiores a los que provocan efectos en la salud. Los VLE relacionados con efectos sensoriales térmicos se basan en la prevención del efecto auditivo por microondas, que solo se produce en condiciones específicas (véase el apéndice B). Por el contrario, los VLE relacionados con efectos en la salud se aplican a todas las frecuencias. En general, se permite superar

temporalmente los VLE relacionados con efectos sensoriales durante períodos breves, siempre que se cumplan ciertas condiciones.

Figura 6.7. Intervalos de frecuencias a los que se aplican distintos VLE



Las barras azules indican efectos no térmicos y las barras rojas, efectos térmicos.

6.3.2. Valores límite de exposición (0-1 Hz)

Los VLE para el intervalo de frecuencias 0-1 Hz se definen con arreglo a la densidad de flujo magnético externo (cuadro A1 del anexo II de la Directiva CEM). Los VLE relacionados con efectos sensoriales se establecen con el fin de evitar el vértigo y otros efectos de percepción. Estos se derivan principalmente de los campos eléctricos inducidos en tejidos al moverse el cuerpo en un campo magnético estático intenso, aunque existen pruebas que apuntan a que también pueden producirse en ausencia de movimiento. De este modo, en un entorno de trabajo controlado en que el movimiento en el campo sea limitado y los trabajadores dispongan de información, puede autorizarse la superación temporal de los VLE relacionados con efectos sensoriales siempre que ello esté justificado por la práctica o el proceso. En este caso, la exposición no debe superar los VLE relacionados con efectos en la salud.

6.3.3. Valores límite de exposición (1 Hz-10 MHz)

Los VLE en el intervalo de frecuencias 1 Hz-10 MHz se definen con arreglo a los campos eléctricos internos inducidos en el cuerpo (cuadro A2 y cuadro A3 del anexo II de la Directiva CEM).

A frecuencias de hasta 400 Hz, se aplican VLE relacionados con efectos sensoriales y VLE relacionados con efectos en la salud. Los VLE relacionados con efectos sensoriales tienen por objeto prevenir los fosfenos retinianos y los cambios transitorios de poca importancia en las funciones cerebrales. Consiguientemente, solo se aplican a los tejidos del sistema nervioso central (SNC) dentro de la cabeza del trabajador expuesto.

Los VLE relacionados con los efectos en la salud se aplican a todas las frecuencias entre 1 Hz y 10 MHz y tienen por objeto prevenir la estimulación de los nervios

periféricos y centrales. Por ello, estos VLE se aplican a todos los tejidos del cuerpo del trabajador expuesto.

6.3.4. Valores límite de exposición (100 kHz-300 GHz)

A frecuencias situadas en el intervalo entre 100 kHz y 6 GHz, el grado de calentamiento derivado de la exposición depende del ritmo al que los tejidos absorben la energía. Ello se define con arreglo a la tasa de absorción específica de energía (SAR), que se utiliza para especificar los VLE relacionados con los efectos en la salud, con valores distintos para todo el cuerpo y para exposiciones localizadas (cuadro A1 del anexo III de la Directiva CEM). Los valores relativos a todo el cuerpo protegen del estrés térmico y del golpe de calor y se aplican a la SAR promediada para todo el cuerpo. Los valores localizados protegen de las lesiones térmicas de tejidos específicos y se aplican a la SAR promediada para una masa de 10 g de tejido contiguo (o conectado). La SAR referida a todo el cuerpo y la relativa a zonas localizadas se promedian a lo largo de un período de seis minutos.

A frecuencias situadas en el intervalo entre 300 MHz y 6 GHz, también se aplican VLE relacionados con efectos sensoriales que tienen por objeto evitar los fenómenos auditivos por microondas que se derivan de la exposición a campos pulsátiles (cuadro A2 del anexo III de la Directiva CEM). Estos se especifican con arreglo a la absorción específica (SA) promediada para una masa de 10 g en la cabeza.

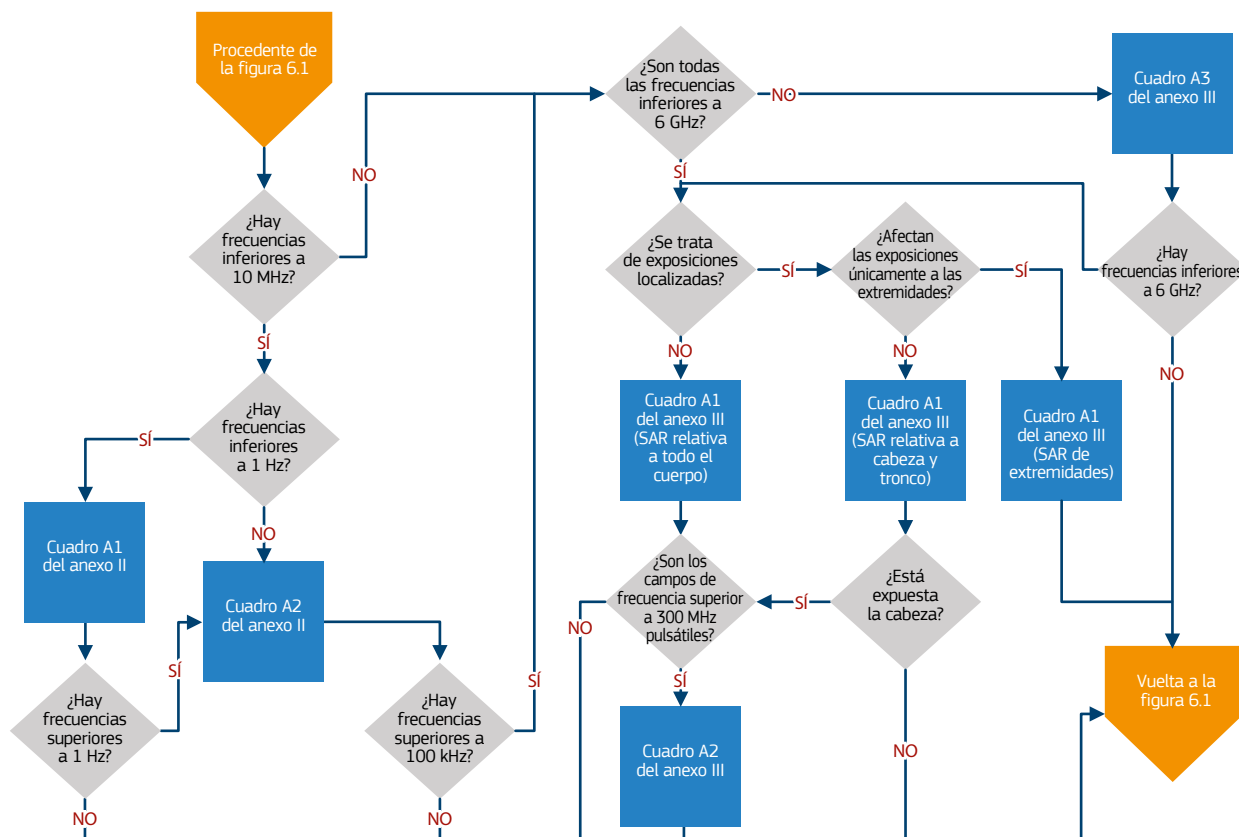
La penetración de los CEM en el cuerpo disminuye con el aumento de la frecuencia en el intervalo de radiofrecuencias, de manera que, por encima de 6 GHz, la superficie del cuerpo absorbe la mayoría del campo. Esto significa que, para estas frecuencias, es mucho más pertinente limitar la densidad de potencia que incide en la superficie del cuerpo que la tasa a la que la energía se absorbe en una masa de tejido. La densidad de potencia se promedia para una superficie de 20 cm², sujeta a un límite máximo promediado para una superficie de 1 cm². A frecuencias situadas en el intervalo 6-10 GHz, la densidad de potencia se promedia a lo largo de un período de seis minutos. Más allá, el período de promediación se reduce con el aumento de la frecuencia, lo que refleja la reducción progresiva de la profundidad de penetración (cuadro A3 del anexo III de la Directiva CEM).

6.4. Excepciones

El artículo 10 de la Directiva CEM otorga una excepción condicionada de la aplicación del artículo 3 (VLE y NA) en tres situaciones. El artículo 10 no afecta a la obligación general de los empresarios con arreglo al artículo 5, apartado 1, de garantizar que los riesgos derivados de la exposición a CEM se eliminen o reduzcan al mínimo.

La primera excepción, referida al uso de imágenes por resonancia magnética (RM) en la atención sanitaria, no es discrecional. Las demás excepciones sí se someten a la discreción de los Estados miembros.

Figura 6.8. Diagrama de flujo para la selección de VLE



6.4.1. Excepción aplicable a la obtención de imágenes por RM

Las exposiciones referidas a la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de imágenes por resonancia magnética (RM) para pacientes en el ámbito sanitario pueden superar los VLE siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- i) que la evaluación de riesgos haya demostrado que se han superado los valores límite de exposición,
- ii) que, habida cuenta del estado de la técnica, se hayan aplicado todas las medidas técnicas u organizativas,
- iii) que las circunstancias justifiquen debidamente la superación de los valores límite de exposición,
- iv) que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, el equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y
- v) que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, en particular asegurándose de que se siguen las instrucciones de uso seguro facilitadas por el fabricante.

En el apéndice F de la presente guía se ofrecen orientaciones adicionales sobre el cumplimiento de la excepción relativa a la obtención de imágenes por RM.

6.4.2. Excepción militar

Los Estados miembros pueden autorizar que se aplique un sistema de protección equivalente para el personal que trabaje en instalaciones militares operativas o que participe en actividades militares. Esta excepción está supeditada a que se prevengan los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad.

6.4.3. Excepción general

Los Estados miembros pueden permitir, en circunstancias debidamente justificadas, que se superen temporalmente los valores límite de exposición en sectores específicos o para actividades específicas fuera del ámbito de las otras dos excepciones. Para que las circunstancias estén debidamente justificadas, tendrán que darse las siguientes condiciones:

- i) que la evaluación de los riesgos realizada haya puesto de manifiesto que se han superado los valores límite de exposición,
- ii) que, habida cuenta del estado de la técnica, se hayan aplicado todas las medidas técnicas u organizativas,
- iii) que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, el equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y
- iv) que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, también mediante el uso de normas y directrices comparables, más específicas y reconocidas internacionalmente.

7. USO DE BASES DE DATOS Y DATOS DE EMISIÓN DE LOS FABRICANTES

La información sobre exposiciones puede estar disponible a través del fabricante de los equipos. Además, las instituciones gubernamentales, los organismos profesionales o las asociaciones comerciales pueden desarrollar y mantener bases de datos sobre evaluaciones de exposición genéricas. Si este tipo de información está disponible y es pertinente, facilitará a los empresarios el método más simple de demostrar el cumplimiento de la Directiva CEM. De ello se desprende que la mayoría de los empresarios deseará estudiar esta opción antes de considerar la evaluación de la exposición a través de la medición o el cálculo.

7.1. Utilización de la información facilitada por el fabricante

Es importante que los empresarios reconozcan que sus responsabilidades con arreglo a la Directiva CEM se relacionan con la exposición total del trabajador, no con la exposición asociada a un componente concreto de los equipos. La evaluación, pues, deberá tener en cuenta la exposición derivada de todas las fuentes presentes en el entorno de trabajo. Por el contrario, en caso de que el fabricante facilite información, se centrará en el componente concreto del equipo que fabrique.

En el caso de la mayoría de los equipos, la intensidad de los campos disminuye muy rápidamente con el aumento de la distancia con respecto a la fuente (véase la figura 3.2). Ello significa que en muchos casos la exposición de los trabajadores se verá afectada por solo uno o, en el peor de los casos, unos pocos componentes de los equipos presentes en las inmediaciones del puesto de trabajo. Consiguientemente, los empresarios desearán a menudo contar con información sobre el modo en que los campos se van debilitando a medida que aumenta la distancia con respecto al equipo. Al considerar la aportación a la exposición del trabajador de las múltiples fuentes, los empresarios no deben olvidar los campos generados por instalaciones auxiliares como cables de suministro, fuentes de alimentación y aparamenta.

Mientras que la información del fabricante entraña el potencial de ofrecer una solución sencilla al problema de evaluar la exposición, los empresarios tendrán que obrar con cierta cautela al hacer uso de ella. Hay muchas razones por las que los fabricantes facilitan información sobre los CEM asociados a sus equipos. Por ejemplo, un fabricante puede facilitar información sobre la intensidad de los campos generados por un equipo porque ello es importante para su funcionamiento y, consiguientemente, forma parte de la especificación. Es posible asimismo que la información se facilite para demostrar el cumplimiento de los requisitos de compatibilidad electromagnética de las directivas sobre productos europeas (véase el apéndice G). Aunque esta información puede ser relevante para determinadas cuestiones de seguridad relacionadas con las interferencias, no será útil a los efectos de la evaluación de la exposición.

La información más útil desde la perspectiva del empresario sería una evaluación de las exposiciones típicas de los trabajadores durante el uso normal del equipo, junto a una indicación del modo en que los campos van disminuyendo con el aumento de la distancia. De manera alternativa, una indicación de las intensidades de los campos relativa a los niveles de actuación en diversas posiciones accesibles alrededor del equipo permitiría a los empresarios efectuar su propia evaluación del cumplimiento durante el uso.



Mensaje clave: información de bases de datos y del fabricante

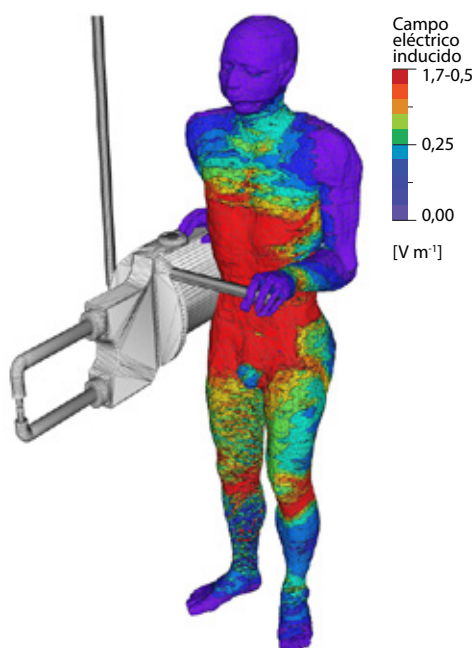
Si se dispone de información de bases de datos y del fabricante, el empresario tendrá acceso a una vía mucho más sencilla para demostrar el cumplimiento que la realización de una evaluación específica. Los fabricantes de maquinaria están obligados por ley a garantizar que las emisiones no sean peligrosas para las personas (véase el apéndice H). También están obligados a facilitar información sobre riesgos residuales y emisiones probables que pudieran causar daños a las personas, incluidas las que llevan dispositivos médicos implantados.

7.1.1. Base para la evaluación del fabricante

Determinados fabricantes publican evaluaciones de sus equipos llevadas a cabo con arreglo a procedimientos normalizados. Sin embargo, numerosas normas de medición se elaboran desde la perspectiva de las emisiones, no desde el punto de vista de la exposición humana. Estas normas de emisiones se elaboran con el fin de ofrecer unos procedimientos normalizados para el ensayo de laboratorio del nivel de CEM generado por tipos específicos de aparatos eléctricos. Se centran en el valor de los campos en determinados puntos del espacio y son útiles para comparar distintos dispositivos o aparatos. Sin embargo, su valor puede ser limitado a la hora de evaluar una exposición relativa a los NA o los VLE en un uso normal.

Por ejemplo, la norma armonizada vigente relativa al ensayo de la conformidad de los equipos de soldadura recomienda medir los campos a 20 cm del cable de soldadura, ya que ello da lugar a una medición más reproducible. En cambio, en el uso cotidiano, el cable puede llegar a estar en contacto con el cuerpo del trabajador y próximo a tejidos sensibles de la cabeza. En la figura 7.1 se ilustra una pistola de soldadura por puntos sostenida a corta distancia del cuerpo del trabajador, muy por debajo de los 20 cm especificados. Según parece, esta deficiencia se subsanará en ediciones futuras de la norma.

Figura 7.1. Distribución inducida de un campo eléctrico en un modelo humano a partir de la exposición a una pistola de soldadura por puntos. Se trata de un ejemplo en el que la fuente del campo electromagnético está a una distancia considerable inferior a 20 cm del cuerpo



Nota: El ejemplo de esta figura se ofrece a título exclusivamente ilustrativo y no debe extrapolarse a ninguna situación concreta.

Se ilustra de este modo que, antes de hacer uso de los datos publicados por el fabricante, es importante comprender qué norma se ha aplicado y con qué objeto se han generado los datos.

7.2. Bases de datos de evaluaciones

Las bases de datos de evaluaciones genéricas de sectores industriales concretos pueden ser muy útiles. Aquellas pueden elaborarla instituciones gubernamentales, organismos profesionales o asociaciones comerciales. En todos los casos, una consideración básica sería ahorrar a los empresarios el tiempo y los gastos de efectuar evaluaciones específicas. En los casos de equipos y prácticas de trabajo corrientes, se trata de un planteamiento pragmático y económico.

A la hora de considerar el uso de información obtenida a partir de bases de datos, los empresarios deben comprobar que el equipo se utilice conforme a las indicaciones, tanto en la evaluación de la base de datos como en su propio lugar de trabajo. Además, los datos de la evaluación podrían no ser pertinentes si la antigüedad de los equipos es muy distinta o si estos no se han mantenido adecuadamente.

La Comisión Europea ha prestado apoyo al trabajo de desarrollo de un paquete de software destinado a ayudar a los empresarios a llevar a cabo evaluaciones de los procesos de soldadura y asociados. Es posible obtener información sobre este proyecto a través del sitio web de EMFWeld (www.emfweld.com).

7.3. Suministro de información por el fabricante

Los fabricantes que suministran equipos situados dentro del ámbito de aplicación de la Directiva relativa a las máquinas (véase el apéndice G) tienen obligaciones específicas en materia de suministro de información. Concretamente, para satisfacer los requisitos básicos, los fabricantes tienen que facilitar información sobre cualesquiera riesgos residuales y medidas de protección que tenga que adoptar el usuario.

Concretamente, si es probable que las máquinas emitan radiación no ionizante que pueda ser nociva, sobre todo para las personas con implantes médicos, el fabricante está obligado a facilitar información sobre las emisiones tanto con respecto al operario como en relación con cualquier otra persona expuesta.

7.3.1. Normas de evaluación

Los comités de normas están desarrollando activamente normas que orienten a los fabricantes en el proceso de evaluación de las emisiones en relación con los NA y los VLE especificados en la Directiva CEM. En ciertos casos, tales normas también especifican cómo deben comunicarse los resultados de la evaluación a quienes adquieran los equipos.

De este modo, el primer paso para cualquier fabricante debe consistir en comprobar si se ha publicado alguna norma pertinente que se relacione con la Directiva CEM vigente. Si existe una norma pertinente que explique cómo comunicar los resultados de la evaluación, el fabricante deberá cumplirla.

Los fabricantes también pueden optar por facilitar información adicional no especificada en la norma, si consideran que ello podría ser útil para un comprador.

7.3.2. Si no existe una norma pertinente

Si no existe una norma pertinente que oriente al fabricante, la información sobre evaluación siguiente ha de facilitar que los compradores lleven a cabo evaluaciones adecuadas en sus propios lugares de trabajo.

Los tres primeros elementos deben facilitar al comprador cierta información general sobre los tipos de efectos previstos y sobre cómo se ha llevado a cabo la evaluación. Concretamente, será importante que el comprador sepa si las condiciones de funcionamiento de la evaluación reflejan el modo en que se utilizará el equipo en su lugar de trabajo.

Los dos siguientes elementos serán útiles para comprender los niveles probables de exposición del operario y si habrá que imponer restricciones u ofrecer formación al personal.

Los dos últimos elementos pueden emplearse para llevar a cabo una evaluación sencilla de los efectos de instalar múltiples aparatos en la misma zona. Los empresarios pueden recurrir a contornos que muestren el porcentaje de los NA o de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para efectuar una evaluación sencilla del efecto acumulativo de ubicar equipos próximos entre sí.

Este método dará lugar, frecuentemente, a una sobrestimación de la intensidad de los campos resultante. Ello se debe a que es posible que no todos los equipos funcionen simultáneamente y a que, a menudo, se producirá la anulación de campos debido a las diferencias de fase. No obstante, se trata de un método sencillo de aplicar que facilitará que la mayoría de los compradores pueda demostrar el cumplimiento.

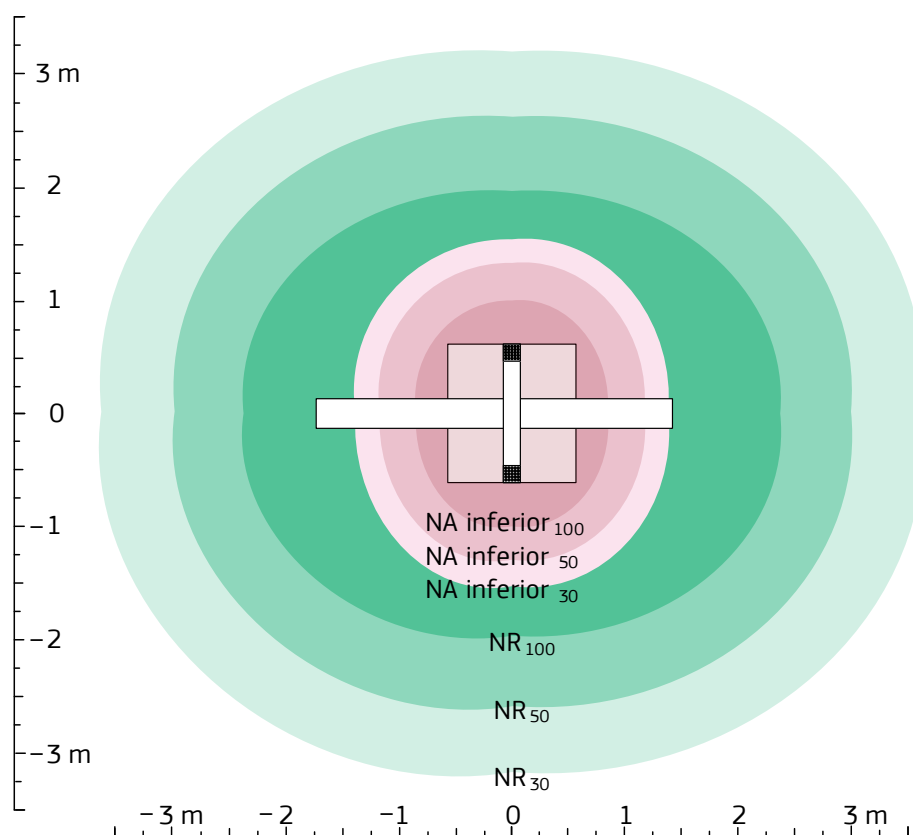
Cuadro 7.1. Información que se recomienda faciliten los fabricantes

Cuestiones que deben considerarse en una evaluación del lugar de trabajo:	<ul style="list-style-type: none"> • efectos no térmicos • efectos térmicos • efectos indirectos (especifíquense)
Condiciones de funcionamiento en las que se lleva a cabo la evaluación:	<ul style="list-style-type: none"> • capacidad máxima de la fuente de alimentación • condiciones en el caso más desfavorable (especifíquense) • condiciones típicas (especifíquense)
Promedio aplicado al resultado de la evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • espacial • temporal
De utilizarse con arreglo a las indicaciones, si la exposición en la posición normal del operario supera:	$\left. \begin{array}{l} \bullet \text{ los NA inferiores} \\ \bullet \text{ los NA superiores} \\ \bullet \text{ los NA de extremidades} \end{array} \right\} \quad \text{O} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ los VLE relacionados con efectos sensoriales} \\ \bullet \text{ los VLE relacionados con efectos para la salud} \end{array} \right.$
De utilizarse con arreglo a las indicaciones, si la exposición en la posición normal del operario supera los valores correspondientes de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en cuanto a:	<ul style="list-style-type: none"> • nivel de referencia • restricción básica
En los casos en que las intensidades de los campos puedan superar uno o varios NA, se facilitarán las distancias máximas o, preferiblemente, un mapa de contornos para las siguientes fracciones del NA:	<ul style="list-style-type: none"> • 100 % • 50 % • 30 %
En los casos en que las intensidades de los campos puedan superar uno o varios niveles de referencia, se facilitarán las distancias máximas o, preferiblemente, un mapa de contornos para las siguientes fracciones del nivel de referencia:	<ul style="list-style-type: none"> • 100 % • 50 % • 30 %

En general, las consideraciones físicas limitarán el número de unidades que puedan ubicarse a corta distancia entre sí. Puesto que la intensidad de los campos suele disminuir rápidamente con el aumento de la distancia (véase el capítulo 3), no es probable que un equipo más distante contribuya de manera significativa a la exposición.

En la figura 7.2 se ilustran los mapas de contornos que podrían facilitarse en relación con los equipos.

Figura 7.2. Ilustración de los mapas de contornos que podrían facilitar los fabricantes para ayudar a los usuarios a garantizar que el efecto acumulativo de varios aparatos en el lugar de trabajo no dé lugar a la superación de los NA



En el ejemplo se muestra un equipo genérico y los contornos ilustran las distancias a las que la intensidad del campo equivale al 100 %, el 50 % y el 30 % (lo que se indica mediante subíndices) del NA pertinente. Se dan contornos equivalentes en relación con los niveles de referencia recogidos en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (identificados como «NR») para facilitar la evaluación de los trabajadores con riesgos particulares.

8. CÁLCULO O MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN

La evaluación de las exposiciones a CEM es un tema especializado y pocos empresarios disponen de los conocimientos técnicos para llevarla a cabo personalmente. Sin embargo, la alternativa de recurrir a un contratista externo puede ser muy costosa. Por lo general, los empresarios tendrán que ponderar estos costes frente a los de adoptar medidas de protección o prevención sencillas (véase el capítulo 9). Al considerar las opciones disponibles, es importante tener en cuenta que el resultado de una eventual evaluación podría ser igualmente la obligación de adoptar medidas de protección o prevención. Como se ha explicado anteriormente en esta guía, la intensidad suele disminuir rápidamente con la distancia, de modo que restringir el acceso a las inmediaciones de los equipos puede ser una medida barata y eficaz.

8.1. Disposiciones de la Directiva CEM

La Directiva CEM impone a los empresarios el requisito inequívoco de evaluar los riesgos derivados de la exposición de sus empleados a los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo. En el marco de la evaluación de riesgos, los empresarios están obligados a identificar y evaluar los CEM en el lugar de trabajo. Sin embargo, esta obligación no entraña el cálculo o la medición, ya que los empresarios pueden tener en cuenta los datos sobre emisiones y otros datos referidos a la seguridad que faciliten los fabricantes o distribuidores. Solo si no pueden demostrar fehacientemente con otros medios el cumplimiento de los VLE, los empresarios estarán obligados a efectuar cálculos o mediciones.

Si los fabricantes han facilitado datos sobre exposición o evaluaciones de riesgos, ello constituirá, por lo general, una vía más sencilla y barata de demostrar el cumplimiento. Asimismo, si se dispone de datos de evaluación genéricos procedentes de instituciones gubernamentales, organismos profesionales y asociaciones comerciales, los empresarios considerarán más sencillo, por lo general, hacer uso de aquellos que efectuar sus propias evaluaciones de la exposición. Ambas opciones se tratan con mayor detalle en el capítulo 7.

8.2. Evaluaciones de los lugares de trabajo

Si los empresarios deciden que es necesario efectuar evaluaciones de exposición en el lugar de trabajo, suelen contar con diversas opciones al respecto. La primera decisión consistirá en si se evalúa la exposición mediante cálculos o a través de mediciones. Ambos planteamientos son válidos para demostrar el cumplimiento de la Directiva CEM y los dos ofrecen una serie de opciones distintas de complejidad asimismo diversa.

Los métodos de evaluación sencillos suelen basarse en supuestos o aproximaciones que darán lugar a una sobrestimación de la exposición. De este modo, es probable que unos métodos de evaluación más complejos reduzcan las distancias de cumplimiento, pero con casi total seguridad requerirán más tiempo y una mayor inversión económica. De ello se desprende que la elección final vendrá determinada por las circunstancias concretas del trabajo y del lugar de trabajo. No obstante, en el caso de muchos empresarios, una evaluación relativamente sencilla será perfectamente adecuada.

Las evaluaciones de la exposición a CEM son, a menudo, complejas. Consiguientemente, los empresarios que se propongan evaluar por sí mismos las exposiciones tendrán

que tener en cuenta la competencia de quienes se encarguen de dicha tarea. Pocos empresarios disponen de los conocimientos y las competencias necesarios dentro de la empresa y, para la mayoría, adquirirlos entrañará una importante inversión.

En el caso de las evaluaciones basadas en mediciones, se tendrá que invertir, además, en la adquisición de los instrumentos necesarios y en mantenerlos calibrados. Quienes lleven a cabo la evaluación tendrán que tener conocimientos sobre las características técnicas que se exigen a los instrumentos, de manera que puedan garantizar la adquisición de equipos adecuados. También necesitarán saber cómo utilizar los instrumentos «sobre el terreno» y ser conscientes de las dificultades. Tendrán que ser capaces de reconocer que las mediciones constituyen una «instantánea» que depende de los parámetros de funcionamiento del equipo en el momento del examen. En caso de que las evaluaciones sean infrecuentes, los empresarios podrán llegar a la conclusión de que el alquiler del instrumental a un proveedor de confianza es una opción más económica.

Por último, es importante reconocer que llevar a cabo una evaluación no consiste en limitarse a medir campos. Es importante evaluar la naturaleza del trabajo llevado a cabo, de manera que puedan determinarse las ubicaciones de los trabajadores. En el caso de frecuencias en las que se permite elaborar promedios temporales, también será fundamental registrar los ciclos de servicio de los equipos y estimar la duración de la ocupación de las zonas.

8.3. Casos especiales

Existe una serie de situaciones en las que las exposiciones pueden ser insólitamente complejas. Algunas de ellas se tratan con mayor detalle en el apéndice D, tal como se indica en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.1. Orientaciones adicionales sobre evaluaciones de la exposición complejas

Hipótesis de evaluación	Apéndice
Exposición no uniforme	D2
Exposiciones a campos de frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 10 MHz	D3
Exposición simultánea a componentes de frecuencias múltiples	D3
Exposición a campos no sinusoidales	D3
Evaluación de campos con frecuencias de entre 0 y 1 Hz	D4

8.4. Búsqueda de asistencia adicional

Si los empresarios no poseen todavía los conocimientos técnicos y, en el caso de las mediciones, los instrumentos necesarios para llevar a cabo las evaluaciones, será preciso efectuar una importante inversión para adquirirlos. Para ciertos empresarios puede tratarse de una inversión que les compense pero, para la mayoría, no será así.

Los empresarios que busquen asistencia externa habrán de tener en cuenta que pueden facilitarla una serie de proveedores diversos. Los siguientes tipos de organización pueden contar con los conocimientos técnicos y los instrumentos necesarios para prestar ayuda:

- instituciones nacionales de seguridad y salud;
- ciertas autoridades locales o nacionales prestan servicios de evaluación con bajo coste a los empresarios de su ámbito;
- centros de investigación (como universidades);
- fabricantes de instrumentos de medición o sus agentes;
- consultores comerciales especializados.

Al dirigirse a cualquier proveedor externo en busca de ayuda, el empresario se cerciorará de que aquel sea competente y preste el servicio requerido. Los empresarios deben comprobar que el proveedor de servicios:

- cuente con personal que disponga de conocimiento y experiencia sobre la aplicación de los VLE y los NA pertinentes y sobre los eventuales métodos de cálculo necesarios;
- cuente con personal que disponga de conocimiento y experiencia sobre el tipo de evaluación necesaria;
- utilice instrumentos capaces de medir los campos precisos, teniendo en cuenta factores como los componentes de frecuencia, las características de pulso y las formas de onda;
- sea capaz de demostrar la trazabilidad de la calibración con arreglo a una norma nacional adecuada;
- sea capaz de calcular la incertidumbre de cualesquiera mediciones que efectúe.

El empresario depende del proveedor externo para seleccionar los NA y los VLE adecuados y para generar datos que sean adecuados para la comparación. Los proveedores habrán de disponer de un sistema de garantía de calidad que asegure que los datos sean fiables. También tendrán que facilitar un informe escrito que explique al empresario qué significa la evaluación y aporte conclusiones claras. Si procede, el informe presentará recomendaciones con respecto a futuras medidas.



Mensaje clave: medición o cálculo de la exposición

La evaluación de la exposición a través de la medición o el cálculo suele ser compleja y debe evitarse en caso de que exista información de otras fuentes, como fabricantes o bases de datos. Si es necesario llevar a cabo la evaluación, los empresarios considerarán meticulosamente si disponen de la capacidad necesaria para llevarla a cabo por sí mismos.

Para muchos empresarios, puede ser más rentable obtener asistencia externa pero, en estos casos, deberán cerciorarse de que los proveedores del servicio dispongan de los instrumentos, la competencia y la experiencia necesarios para llevar a cabo la evaluación.

Sección 4

¿ES NECESARIO ADOPTAR ALGUNA MEDIDA MÁS?

9. MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN

La selección de las medidas de protección o de prevención adecuadas para cualquier situación concreta debe guiarse por los resultados de la evaluación de riesgos. Ello facilitará información sobre cómo pueden producirse unas exposiciones peligrosas. La selección de las medidas de control de los riesgos también deberá tener en cuenta la naturaleza del trabajo que vaya a llevarse a cabo.

Como se ha indicado en el capítulo 6, si puede determinarse que los niveles de actuación (NA) o los valores límite de exposición (VLE) no van a superarse y no existen riesgos significativos de efectos indirectos ni para los trabajadores con riesgos particulares, no serán necesarias medidas adicionales.

En zonas donde exista el riesgo de superar los NA o los VLE o de que se produzcan efectos indirectos, el empresario tendrá que considerar si la zona en cuestión es accesible mientras los campos estén presentes. Si el acceso a la zona está ya adecuadamente restringido por otros motivos (por la presencia de conducciones de alta tensión, por ejemplo), no será necesario, por lo general, adoptar medidas adicionales. Si no es así, el empresario tendrá que adoptar, normalmente, medidas adicionales.

Si se adoptan medidas de protección o prevención adicionales, habrá que examinar los aspectos relacionados con la evaluación de riesgos para determinar si se han eliminado o reducido a un mínimo todos ellos.

En general, la introducción de medidas de protección o prevención durante el diseño y la instalación de los lugares de trabajo o sus equipos puede ofrecer unas ventajas significativas en materia de seguridad y funcionamiento. La adopción en una fase posterior puede entrañar importantes costes.

9.1. Principios de prevención

En caso de que sean necesarias medidas de protección y prevención, el artículo 6 de la Directiva marco establece unos principios de prevención que deben aplicarse a todos los riesgos (véase el cuadro 9.1).

Cuadro 9.1. Principios de prevención establecidos en la Directiva marco

Principios de prevención:

Evitar los riesgos

Evaluar los riesgos que no se puedan evitar

Combatir los riesgos en su origen

Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos de trabajo y los métodos de trabajo y de producción

Tener en cuenta la evolución de la técnica

Sustituir lo peligroso por lo que entraña poco o ningún peligro

Planificar la prevención buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo

Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual

Dar las debidas instrucciones a los trabajadores

9.2. Eliminación del peligro

El método más eficaz de controlar los riesgos consiste en eliminar por completo el peligro. Ello puede entrañar un cambio a un proceso alternativo que no dé lugar a la generación de CEM intensos. Un ejemplo podría consistir en pasar de la soldadura por resistencia eléctrica a la soldadura con láser. Se reconoce, no obstante, que ello no será siempre viable. A menudo no existirán procesos alternativos o bien las alternativas disponibles introducirán otros tipos de peligros (en el ejemplo anterior, la presencia de un haz láser de alta potencia) que podrían generar riesgos iguales o mayores para los trabajadores.

La eliminación de peligros entraña a menudo rediseñar todo el proceso y efectuar cuantiosas inversiones en nuevos equipos. De este modo, solo será viable durante la configuración inicial o en el marco de un proceso importante de adquisición de nuevas herramientas. Sin embargo, en tales ocasiones deben tenerse en cuenta los medios alternativos de lograr el mismo fin sin generar CEM intensos.

9.3. Sustitución por procesos o equipos menos peligrosos

Un método eficaz de reducir los riesgos derivados de la exposición a los CEM consiste en sustituir los procesos o equipos existentes por otros que generen menos CEM. Por ejemplo, en su forma más sencilla, la soldadura dieléctrica de plásticos puede entrañar un elevado nivel de exposición del operario a CEM de radiofrecuencia radiados e, incluso, a riesgos de quemaduras derivadas de tocar los electrodos expuestos. Normalmente, será viable diseñar equipos que incorporen un apantallamiento que limite la magnitud de los campos radiados, a menudo en combinación con un proceso automatizado que aumente la separación entre el operario y los electrodos.

Aunque la sustitución de equipos existentes por otros más automatizados y con mejor apantallamiento mejorará, por lo general, la eficiencia del proceso, también entrañará un coste económico sustancial. De este modo, esta opción solo será viable en el marco del ciclo normal de sustitución de equipos.



Mensaje clave: medidas para reducir los riesgos

En caso de que los riesgos no puedan reducirse por eliminación o sustitución, será necesario introducir medidas adicionales. Los empresarios tienen a su disposición numerosas opciones para lograr este fin y, en general, serán preferibles las medidas técnicas y organizativas, dado que estas ofrecen una protección colectiva. Buena parte de las medidas que podrían emplearse para reducir los riesgos derivados de la exposición a CEM son similares a aquellas empleadas en relación con otros riesgos en el lugar de trabajo.

9.4. Medidas técnicas

En caso de que sea viable adoptar medidas técnicas, estas cuentan con la ventaja de que ofrecen una protección colectiva y suelen combatir los riesgos en su origen. Además, son más fiables que las medidas organizativas, ya que no dependen de la actuación de personas. Una serie de medidas técnicas pueden ser eficaces para prevenir o limitar el acceso a CEM. Se analizan a continuación.

9.4.1. Apantallamiento

El apantallamiento puede constituir un medio eficaz para reducir los campos electromagnéticos producidos por una fuente y a menudo se incorporan al diseño de los equipos para limitar las emisiones. Un buen ejemplo de ello lo constituyen los hornos microondas. Una malla en la ventanilla está conectada a la carcasa metálica del horno para formar un apantallamiento continuo que limite la emisión de radiación de microondas. El apantallamiento también puede instalarse en estancias, con el fin de crear un entorno de emisiones electromagnéticas débiles, aunque ello suele hacerse más para proteger equipos eléctricos sensibles que a las personas.

En la práctica, el apantallamiento para campos eléctricos de radiofrecuencia y baja frecuencia se basa en encerrar la fuente dentro de una cámara de superficie conductora (pantalla de Faraday). Esta suele estar hecha de láminas de metal, o malla de metal, aunque también pueden utilizarse otros materiales tales como cerámica, plástico y vidrio con una o varias capas metálicas o que incorporen una malla metálica. Esta es útil en las situaciones en las que sea necesario contar con una ventana para poder observar el proceso. En casos en que sea asimismo necesario que el aire circule, con fines de refrigeración por ejemplo, ello podrá lograrse mediante el uso de mallas metálicas o de materiales alveolados.

Para que sea eficaz, hay que garantizar que el apantallamiento sea efectivamente continuo. Cualquier hueco o junta debe ser mucho menor que la longitud de onda (véase el apéndice A) del campo electromagnético. Por este motivo, cualquier panel que forme parte de un apantallamiento estará sujeto, normalmente, por tornillos o pernos situados a muy poca distancia entre sí. Si es necesario retirar el panel, habrá que volver a montarlo con todas las fijaciones en su sitio, con el fin de reducir al mínimo las fugas. Las puertas y los paneles de acceso incorporarán, por lo general, una lámina de contacto que los rodee por completo. Aparte de los huecos y las juntas, la eficacia del apantallamiento depende del material del que esté hecho, su grosor, su forma y la frecuencia del campo.

Los cables y otras guías de onda empleadas para la transmisión de campos de radiofrecuencia incorporan apantallamiento de fábrica. Ello tiene por objeto prevenir la radiación de energía de radiofrecuencia, lo que supondría grandes pérdidas, pero también sirve para limitar la magnitud de los campos ambientales. Cualquier pérdida de integridad del apantallamiento puede dar lugar a fugas, de manera que hay que tener en cuenta la posible degradación de juntas o codos.

El apantallamiento de campos magnéticos estáticos y de baja frecuencia (inferior a, aproximadamente, 100 kHz) es más complicado. Es posible apantallar tales campos mediante aleaciones metálicas especiales, como mu-metal, pero existen muchas limitaciones y su uso suele ceñirse a ciertas aplicaciones especializadas.

El apantallamiento pasivo de los campos magnéticos es complicado y, en lugar de aquel, suele recurrirse al apantallamiento activo, sobre todo en el caso de los campos estáticos (véase el caso práctico sobre unidades de RMN en el volumen 2 de la presente guía). En el apantallamiento pasivo suele utilizarse una bobina adicional, normalmente con forma de solenoide, para generar un campo magnético opuesto. La anulación de los dos campos da lugar a una rápida reducción de la densidad de flujo magnético lejos de la fuente.

9.4.2. Protección del acceso

El uso de protectores puede ser un método barato y eficaz de restringir el acceso a zonas que tienen campos de gran intensidad. Como se ha indicado en el capítulo 3, la intensidad de los campos suele disminuir rápidamente con el aumento de la distancia con respecto a la fuente del campo, de manera que el uso de una protección para restringir el acceso a las inmediaciones constituirá a menudo una opción práctica. Conociendo la distribución del campo, cualquier persona competente en el diseño y la instalación de elementos de protección de maquinaria debería ser capaz de ofrecer una solución eficaz.

Al instalar protectores en campos intensos, ha de tenerse en cuenta el acoplamiento del campo con el material de protección. Puede ser, pues, adecuado, utilizar materiales no metálicos, por ejemplo, barreras de plástico en instalaciones de RMN con campos magnéticos estáticos de gran intensidad. Por otra parte, la instalación de elementos de protección metálicos puede precisar de un examen de las descargas de chispas y las corrientes de contacto, junto con la puesta a tierra adecuada (apartados 9.4.7 y 9.4.8).

Si no es necesario acceder a la zona restringida en el funcionamiento normal, las protecciones fijas serán a menudo la solución más sencilla y barata. Estas protecciones se fijarán de un modo que su retirada exija el uso de herramientas.

Debido a la necesidad de utilizar herramientas para retirarlas, las protecciones fijas no serán aptas para zonas a las que sea preciso acceder con frecuencia. En este caso, un protector móvil podría ser una solución aceptable. Este estará normalmente dotado de un dispositivo de bloqueo recíproco con la fuente del campo, aunque un protector no dotado de este dispositivo (figura 9.1) también puede ser aceptable si el riesgo es relativamente bajo.

Figura 9.1. Ejemplo de un protector móvil simple empleado para restringir el acceso a un campo magnético intenso. En este caso, el protector no está dotado de dispositivo de bloqueo recíproco, aunque se complementa con señales de advertencia y medidas organizativas



En caso de que los campos intensos solo sean accesibles a través de escaleras verticales fijas, como sucede en el caso de las antenas de alta potencia instaladas en una azotea (véase el caso práctico en el volumen 2 de la presente guía), un protector de escalera puede constituir un método barato y eficaz de restringir el acceso (figura 9.2).

Figura 9.2. Uso de un protector de escalera para restringir el acceso a campos intensos en una azotea



9.4.3. Dispositivos de bloqueo recíproco

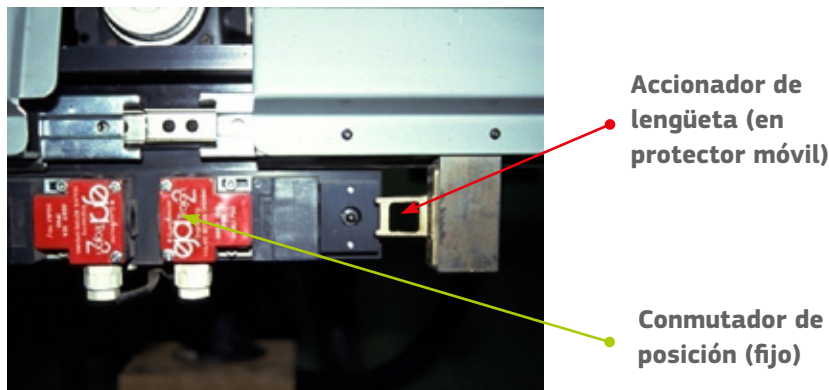
En caso de que se empleen protectores móviles para restringir el acceso a campos intensos, deben estar dotados de un dispositivo de bloqueo recíproco con la fuente del CEM. Este dispositivo detectará la posición del protector y evitará la generación de CEM cuando el protector no se halle completamente cerrado.

Existen diversos tipos de dispositivos de bloqueo recíproco, cada cual con sus propias ventajas e inconvenientes (véase el cuadro 9.2). La selección de un dispositivo adecuado dependerá de las circunstancias concretas y deberá basarse en los resultados de la evaluación de riesgos.

Cuadro 9.2. Ejemplos de distintos tipos de dispositivos de bloqueo recíproco

Tipo	Descripción	Ejemplos
1	Conmutador accionado mecánicamente, sin codificación	Conmutador de disco de levas rotatorio en un protector con bisagras Conmutador de disco de levas lineal accionado por un protector montado en rieles deslizantes Conmutador montado internamente dentro de la bisagra
2	Conmutador accionado mecánicamente, con codificación	Conmutador de posición accionado mediante lengüeta Sistema con atrapamiento de llave
3	Conmutador de posición sin contacto, sin codificación	Conmutador de proximidad basado en detección inductiva, magnética, capacitiva, ultrasónica u óptica
4	Conmutador de posición sin contacto, con codificación	Conmutador de proximidad con detección magnética codificada Conmutador de proximidad con detección RFID

Figura 9.3. Conmutador de posición accionado mediante lengüeta, ejemplo de dispositivo de bloqueo recíproco de tipo 2



Habida cuenta de la presencia de campos electromagnéticos intensos, se tendrá que considerar el riesgo de interferencia con el funcionamiento del dispositivo de bloqueo recíproco y cualesquiera circuitos asociados. Los dispositivos accionados mecánicamente pueden ser menos sensibles a las interferencias electromagnéticas.

Los dispositivos de bloqueo recíproco deben cumplir las normas europeas adecuadas e instalarse con sujeciones cuya retirada precise del uso de herramientas.

Puesto que la apertura del protector dará lugar, normalmente, a la interrupción inmediata del campo de gran intensidad, el bloqueo del protector (el protector permanece bloqueado hasta que el riesgo ha desaparecido) normalmente no será necesario.

9.4.4. Equipo de protección sensible

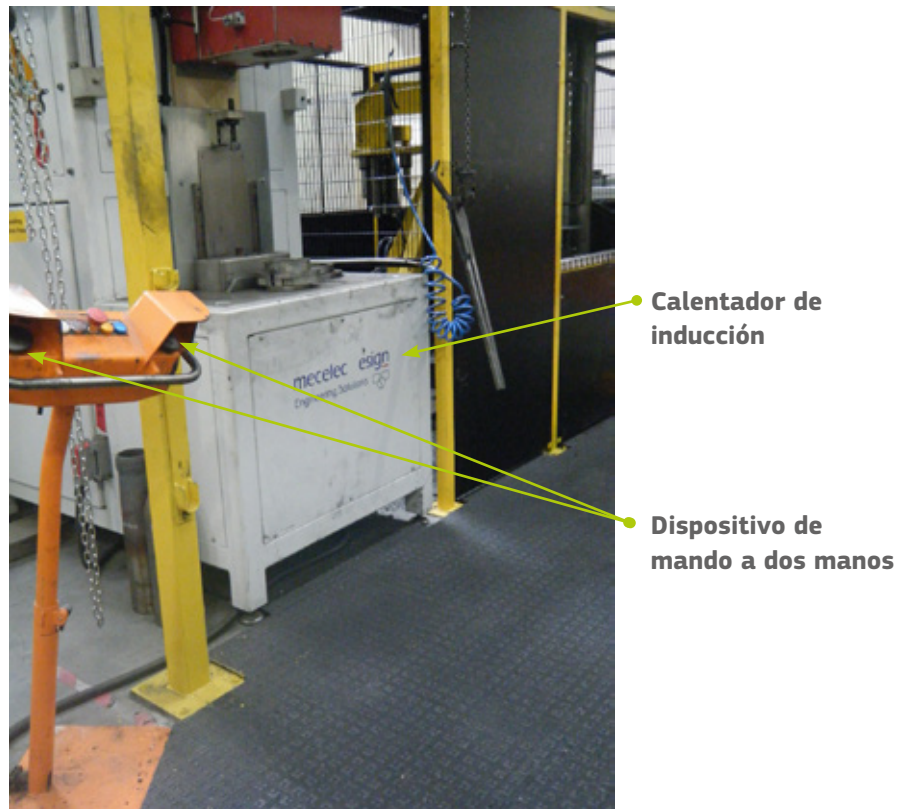
En caso de que no sea viable instalar protectores fijos o móviles, otra opción podrá consistir en recurrir al uso de equipo de protección sensible. Este incluye elementos tales como cortinas ópticas, escáneres y alfombras sensibles a la presión. Este equipo puede detectar la entrada o la presencia de una persona en una zona de campos de gran intensidad e interrumpir el funcionamiento de los equipos que generen campos electromagnéticos.

El equipo de protección sensible hace uso de una gama de tecnologías de detección cuya idoneidad variará en función de la situación concreta de que se trate. Los empresarios deben tratar de obtener un asesoramiento competente a la hora de elegir los sistemas adecuados. Concretamente, debe considerarse el riesgo de interferencia de los campos electromagnéticos intensos.

9.4.5. Dispositivo de mando a dos manos

Puede utilizarse un dispositivo de mando a dos manos (figura 9.4) que requiera la activación mediante el uso simultáneo de las dos manos de un operario. Ello puede ser útil para garantizar que un operario se encuentre en una posición concreta o que sus manos estén fuera de una zona de campos intensos. Sin embargo, este dispositivo no brinda protección a otros trabajadores.

Figura 9.4. Dispositivo de mando a dos manos empleado para asegurar que el trabajador se mantenga a distancia de un calentador de inducción



9.4.6. Paradas de emergencia

Si los trabajadores pueden acceder a entornos potencialmente peligrosos, es fundamental contar con dispositivos de parada de emergencia. A la mayoría de las personas les resultan familiares los botones de parada de emergencia con forma de seta roja. La parada de emergencia debe responder rápidamente, detener todos los servicios de la zona y evitar que vuelvan a ponerse en marcha antes del reinicio.

Los botones de parada de emergencia deben ubicarse en toda la zona, en cantidad suficiente para que siempre haya uno al alcance y que, desde luego, no sea necesario atravesar una zona más peligrosa para alcanzarlo. Si se desea cubrir zonas de mayor extensión, suele ser conveniente utilizar un cable del que tirar, en lugar de botones.

9.4.7. Medidas técnicas para evitar descargas de chispas

Pueden producirse descargas de chispas en campos eléctricos intensos si una persona toca un objeto conductor con respecto al que existe una diferencia de potencial, ya que uno de ellos mantiene contacto con tierra y el otro no. Las descargas de chispas pueden evitarse impidiendo que existan tales diferencias de potencial. Ello puede lograrse mediante medidas técnicas tales como la puesta a tierra de objetos conductores y conectando los trabajadores a objetos de trabajo conductores (conexión equipotencial).

En la práctica, puede ser complicado aplicar sistemáticamente estas medidas técnicas debido a la dificultad de lograr una puesta a tierra o una conexión eficaces de objetos móviles. Por este motivo, por lo general será necesario combinar medidas técnicas con medidas organizativas adecuadas, sobre todo la formación del personal y, posiblemente, el uso de equipos de protección individuales.

9.4.8. Medidas técnicas para evitar corrientes de contacto

Cuando una persona entra en contacto con un objeto conductor en un campo de radiofrecuencia y uno de los dos no mantiene contacto con tierra, una corriente de radiofrecuencia puede atravesar a la persona en su camino hacia la tierra. Ello podrá producir choque eléctrico o quemaduras. Cabe aplicar una serie de medidas para limitar las corrientes de contacto. Reduciendo la intensidad de los campos de dispersión magnética también se reducirá la magnitud de la corriente de radiofrecuencia que puede circular. También pueden introducirse otras mejoras en el aislamiento y la puesta a tierra. Por último, cabe señalar que las medidas organizativas, tales como la retirada de los objetos conductores innecesarios, sobre todo los de gran tamaño, reducirán las posibilidades de contacto.

9.5. Medidas organizativas

En determinadas situaciones puede no ser viable reducir al mínimo los riesgos derivados de la exposición a CEM por medio de medidas técnicas. En estas situaciones, la siguiente etapa consistirá en examinar la posibilidad de aplicar medidas organizativas. Estas contribuirán a aumentar la protección colectiva pero, dado que generalmente se basan en la actuación de las personas a partir de la información que reciban, serán tan eficaces como la actuación de tales personas. No obstante, las medidas organizativas desempeñan una función importante y pueden constituir la principal medida de control en ciertas circunstancias, como en la puesta en servicio y durante las revisiones.

La elección de medidas organizativas depende de la naturaleza del riesgo y del modo en que se lleve a cabo el trabajo. Entre las medidas cabe incluir la delimitación de zonas y la restricción de acceso, el uso de signos, señales y etiquetas, la designación de personas que supervisen las zonas o las actividades de trabajo y los procedimientos escritos.

9.5.1. Delimitación y restricción de acceso

En determinadas situaciones puede no ser viable restringir el acceso a determinadas zonas de campos magnéticos intensos mediante medidas técnicas tales como la protección física del acceso. En tales situaciones, se podrá recurrir a una serie de medidas organizativas para delimitar las zonas y restringir el acceso o las actividades. En general, es probable que para ello haya que colocar señales de advertencia y avisos para alertar a los trabajadores expuestos al riesgo, a menudo en combinación con marcas en el suelo que identifiquen las zonas de campos intensos.

Cuadro 9.3. Ejemplos de restricciones de acceso o de otra índole que pueden ser necesarias en zonas con presencia de CEM intensos

Criterios	Restricciones
Efectos no térmicos Superación de VLE relacionados con efectos en la salud Superación de NA superiores Superación de NA de extremidades	Acceso prohibido mientras haya campos presentes
Efectos térmicos Superación de VLE relacionados con efectos en la salud Superación de NA relativos a la exposición Superación de NA relativos a la corriente de extremidades	Restricciones de acceso para limitar la exposición media a lo largo del tiempo
Superación temporal de VLE sensoriales Superación temporal de NA inferiores	Acceso restringido a trabajadores con formación Pueden aplicarse otras restricciones
Riesgo de proyección de objetos en campos magnéticos estáticos intensos	Restricciones de materiales ferromagnéticos que pueden introducirse en la zona
Riesgos para los trabajadores con riesgos particulares	Restricciones del acceso a zonas con campos intensos Información para el acceso al sitio
Riesgo de descargas de chispas debidas a la presencia de campos eléctricos intensos	Acceso restringido a trabajadores con formación
Riesgo de corrientes de contacto	Acceso restringido a trabajadores con formación Prohibición de objetos conductores innecesarios

En ciertas situaciones en las que pueda haber ya marcas en el suelo para advertir de otros peligros o restricciones, podrá aceptarse el uso de medios alternativos para la delimitación de las zonas, tales como marcas murales o la colocación de planos de zona con zonas marcadas.

En caso de que los CEM solo estén presentes en ciertas etapas del ciclo de funcionamiento de un equipo, puede ser útil indicar tal presencia por medio de señales de advertencia ópticas (una baliza iluminada, por ejemplo) o acústicas (una sirena, por ejemplo).

Si el acceso se restringe a ciertos trabajadores, será necesario que exista un proceso para autorizar formalmente a aquellos a los que se facilite el acceso.

En ciertos casos, puede ser necesario establecer restricciones de acceso temporales. Ello puede ser adecuado en el caso de una instalación temporal o durante los trabajos de puesta en servicio de una instalación permanente, antes de la instalación de los protectores fijos. En estas situaciones, suele aceptarse la instalación de barreras temporales. Normalmente, estas llevarán incorporados signos de advertencia. En el caso de situaciones de riesgo elevado durante períodos breves, también puede ser adecuado asignar a ciertos trabajadores la supervisión de los límites de la zona, para garantizar que nadie cruce las barreras.

Figura 9.5. Barreras temporales y signos de advertencia para restringir el acceso a zonas de campos intensos generados por una instalación temporal



En caso de que existan riesgos de ignición de ambientes inflamables o de activación de dispositivos electro-explosivos, la práctica normal consiste en delimitar la zona donde se da el peligro principal (ambiente inflamable o dispositivo electro-explosivo) e imponer restricciones a todas las fuentes de ignición o activación, incluidos los CEM, en dicha zona.

9.5.2. Signos y avisos de seguridad

Estos son una parte importante de cualquier sistema de medidas organizativas. Los signos y avisos de seguridad solo son eficaces si son claros e inequívocos. Deben colocarse a la altura de los ojos para potenciar al máximo su visibilidad. La naturaleza del peligro debe indicarse claramente. En las figuras 9.6 a 9.8 se muestran ejemplos de pictogramas, junto al significado que se les atribuye. En general, será apropiado añadir un texto complementario para contribuir a la comprensión. Ello es especialmente pertinente en relación con los signos obligatorios que exigen el uso de calzado o guantes aislantes o conductores.

Figura 9.6. Signos de advertencia normalizados que a menudo se exhiben en relación con CEM



Atención: campo magnético



Atención: radiación no ionizante

Figura 9.7. Signos de prohibición normalizados que a menudo se exhiben en relación con CEM



Acceso prohibido a personas con dispositivos cardíacos implantados



Acceso prohibido a personas con implantes metálicos

Figura 9.8. Signos obligatorios normalizados que podrían exhibirse en relación con la presencia de CEM



Obligatorio el uso de calzado de seguridad



Obligatorio el uso de guantes de protección



Obligatorio el uso de gafas de protección



Signo de obligación general de actuar

Si los campos electromagnéticos solo están presentes de manera intermitente, los signos de advertencia solo se mostrarán cuando el campo esté activo; de otro modo, podrán ignorarse. Esto puede conseguirse en la práctica dando la vuelta al signo (que estará en un gancho o en un soporte ranurado), de modo que aparezca un signo en blanco una vez haya finalizado la situación de peligro.

Constituye una práctica habitual el colocar etiquetas de advertencia que lleven el mismo pictograma en cualquier equipo que genere CEM.

9.5.3. Procedimientos escritos

En caso de que sea preciso basarse en medidas organizativas para gestionar los riesgos derivados de la exposición a CEM, estas habrán de documentarse en la evaluación de riesgos, de manera que todos los interesados tengan claro cuáles son las exigencias. Deberán incluirse:

- descripciones de cualesquiera zonas con restricciones específicas de acceso o de actividades;
- detalles relativos a las condiciones de acceso a una zona o de realización de una actividad concreta;
- requisitos de formación específicos para los trabajadores (tales como la formación necesaria para superar temporalmente los NA inferiores);
- nombres de las personas autorizadas a acceder a determinadas zonas;
- nombres del personal responsable de la supervisión del trabajo o de hacer cumplir las restricciones de acceso;
- identificación de cualquier grupo específicamente excluido de determinadas zonas, como los trabajadores con riesgos particulares;
- detalles sobre disposiciones de emergencia, si procede.

Debe haber ejemplares de los procedimientos escritos disponibles para su consulta en las zonas donde se apliquen y deben entregarse a cualquiera que pueda verse afectado por ellos.

9.5.4. Información sobre la seguridad del sitio

Constituye una práctica común el facilitar información sobre seguridad o dar una charla informativa de seguridad a quienes acceden a un sitio por primera vez. Si el sitio incluye zonas identificadas donde se restringe el acceso o la realización de actividades específicas, constituiría una buena práctica explicar tal situación en la información sobre la seguridad del sitio.

Figura 9.9. La información sobre la seguridad del sitio suministrada a los visitantes explicará las eventuales restricciones del acceso a zonas y, concretamente, los riesgos que afecten a los trabajadores con riesgos particulares



Es particularmente importante destacar dicha circunstancia en caso de que haya zonas en las que puedan existir riesgos para los trabajadores con riesgos particulares. Deben identificarse los grupos «de riesgo» reconocidos y se recomendará a cualquier persona que pertenezca a uno de estos grupos que haga saber tal circunstancia a su anfitrión. La información debe incluir una advertencia para que las personas de estos grupos permanezcan atentas ante otros eventuales signos de advertencia.

9.5.5. Supervisión y gestión

La seguridad relativa a los CEM debe gestionarse a través de la misma estructura de gestión de la seguridad y la salud que otras actividades que entrañan un peligro potencial. Los pormenores de los regímenes organizativos pueden variar con arreglo al tamaño y la estructura de la organización.

En caso de que los campos tengan una intensidad suficiente como para exigir una gestión específica, será normalmente adecuado designar a un miembro experimentado del personal para que supervise los aspectos cotidianos de la seguridad relativa a los CEM en el lugar de trabajo.

9.5.6. Instrucciones y formación

El artículo 6 de la Directiva CEM versa específicamente sobre el suministro de información y la formación de los trabajadores que es probable se vean expuestos a riesgos derivados de la exposición a CEM en el trabajo. El contenido obligatorio de esta formación se ofrece en el cuadro 9.4.

El nivel de información o formación facilitado debe adecuarse a los riesgos derivados de la exposición a CEM en el lugar de trabajo. Si la evaluación inicial (véase el capítulo 3) ha demostrado que los campos accesibles son tan débiles que no es necesario emprender medidas específicas, bastará con confirmar que la situación es tal. Sin embargo, incluso en esta situación será importante advertir a los trabajadores o sus representantes de la posibilidad de que ciertos trabajadores podrían verse expuestos a riesgos particulares. Se alentará a cualquier trabajador que pertenezca a un grupo «de riesgo» reconocido a que se identifique como tal ante la dirección.

Cuadro 9.4. Contenido de la información y la formación especificadas en la Directiva CEM

Medidas adoptadas en aplicación de la Directiva CEM
Valores y conceptos de los valores límite de exposición y los niveles de actuación, posibles riesgos asociados y medidas de prevención adoptadas
Posibles efectos indirectos de la exposición
Resultados de las evaluaciones, mediciones o cálculos de los niveles de exposición a campos electromagnéticos efectuados de conformidad con el artículo 4 de la Directiva CEM
Forma de detectar los efectos adversos para la salud derivados de la exposición y modo de informar sobre ellos
Posibilidad de que surjan síntomas y sensaciones pasajeros relacionados con los efectos en el sistema nervioso central o periférico
Circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a vigilancia de la salud
Prácticas de trabajo seguras para reducir al mínimo los riesgos derivados de la exposición
Trabajadores con riesgos particulares

Si ha sido necesario adoptar medidas técnicas u organizativas específicas en relación con los CEM, será normalmente adecuado impartir algún elemento de formación más formal. Si los riesgos se han eliminado o reducido a un mínimo exclusivamente a través de medidas técnicas, bastará con impartir dicha formación en el marco de una reunión informativa sobre seguridad o un debate de grupo informal («toolbox talk»). Esto servirá para alertar a los trabajadores de los riesgos y explicarles las medidas técnicas adoptadas para protegerlos. La formación debe destacar la importancia de señalar los eventuales fallos o deficiencias aparentes en las medidas de protección, de manera que puedan subsanarse.

En caso de que la gestión de los riesgos derivados de la exposición a CEM se base en un elemento básico de las medidas organizativas o en el uso de equipos de protección individual, la formación tendrá que ser más formal y detallada.

A la hora de determinar la profundidad, la amplitud y la duración de la formación necesaria, el empresario tendrá que tener en cuenta las cuestiones citadas en el cuadro 9.5. Es importante que cualquier formación ponga los riesgos derivados de la exposición a CEM en perspectiva con respecto a otros riesgos en el lugar de trabajo.

Cuadro 9.5. Cuestiones que deben considerarse a la hora de decidir el nivel de formación necesario

Resultado de las evaluaciones de riesgos

Conocimientos técnicos actuales y sensibilización del personal con respecto a los riesgos derivados de la exposición a CEM

Grado de participación de los trabajadores en la gestión de los riesgos derivados de la exposición a CEM

Naturaleza del entorno de trabajo y si es estable o cambia con frecuencia

Si la formación se dirige a nuevos trabajadores o si se trata de una formación de refresco para personal antiguo

Si existen riesgos de descargas de chispas o de corrientes de contacto, la formación tendrá que identificar concretamente tales riesgos. También tendrá que explicar las medidas adoptadas para reducir los riesgos, máxime si estos precisan de la actuación de los trabajadores.

La impartición de formación debe documentarse.

9.5.7. Diseño y disposición de los lugares y puestos de trabajo

Los riesgos derivados de la exposición a CEM pueden reducirse al mínimo a menudo sin coste o con un coste reducido dedicando un poco de atención a la disposición del lugar de trabajo en general y de los puestos de trabajo en particular.

Por ejemplo, los equipos que generan campos intensos pueden colocarse, frecuentemente, lejos de las zonas de paso comunes y de otras zonas de alta ocupación. En cualquier caso, hay que cerciorarse de que los equipos se dispongan de manera que el acceso pueda restringirse adecuadamente en caso de que no pueda garantizarse el cumplimiento de los VLE.

Los equipos que generen campos intensos deben ubicarse de manera que los trabajadores con riesgos particulares no tengan que atravesar campos que puedan ponerlos en peligro. De este modo, los campos nunca deben extenderse a zonas de paso comunes ni a cualesquiera otras zonas, a menos que sea aceptable excluir a los trabajadores citados de las zonas en cuestión.

Al considerar la disposición de sus lugares de trabajo, los empresarios han de recordar que los campos magnéticos no se atenúan, por lo general, por la presencia de tabiques, por lo que se tendrá que tener en cuenta el acceso a las zonas contiguas. Esta circunstancia se ilustra en relación con el equipo de inspección de partículas magnéticas empleado en el caso práctico referido al taller de ingeniería recogido en el volumen 2 de la presente guía.

También es importante, a menudo, la disposición de los puestos de trabajo. En el ejemplo de la figura 9.10, el campo en la posición del operario, frente a la soldadora de puntos, es más débil que el campo generado en los laterales de la soldadora. Es, pues, importante en situaciones de este tipo organizar el puesto de trabajo de manera que el operario esté sentado o de pie en la posición prevista (figura 9.10) y tener en cuenta asimismo la posición de los trabajadores que estén desempeñando otras tareas.

Figura 9.10. Ilustraciones de buenas y malas prácticas al disponer el puesto de trabajo para una soldadora de puntos y considerar la posición del operario



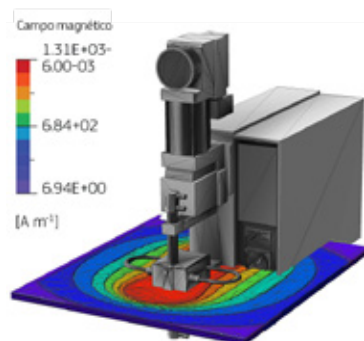
Buena práctica:

El campo es más intenso a los lados de la soldadora que frente a ella. En esta disposición, el trabajador se sitúa frente al equipo para efectuar la soldadura. Consiguientemente, la exposición del trabajador se mantiene a un nivel bajo.



Mala práctica:

En esta disposición, el trabajador tiene que situarse a un lado del equipo para efectuar la soldadura. El resultado es que su exposición será mayor.



Información:

El gráfico ilustra en qué modo los contornos del campo magnético están más separados a los lados de la soldadora.

9.5.8. Adopción de buenas prácticas de trabajo

A menudo, los trabajadores pueden reducir al mínimo la generación de campos intensos o reducir su exposición a ellos introduciendo cambios sencillos en sus prácticas de trabajo. Por ejemplo, en caso de que la corriente de alimentación y de retorno circulen por conductores separados, estos deberán situarse próximos entre sí, si es posible. Ello dará lugar, normalmente, a una reducción sustancial del campo generado, ya que los flujos de corriente opuesta darán lugar a una anulación del campo.

Los trabajadores deberán procurar separarse los cables del cuerpo siempre que ello sea viable, sobre todo cuando se trate de cables de alimentación y retorno separados. Las ilustraciones de la figura 9.11 muestran ejemplos de buenas y malas prácticas en la soldadura. Los cables de soldadura suelen ser pesados y tienden a restringir los movimientos de la pistola soldadora. Por ello, es una práctica habitual entre los soldadores el apoyar el cable en el hombro o, incluso, enrollárselo al cuello. Ello acerca inevitablemente la fuente del campo intenso al cerebro y a la médula espinal. Sujetar el cable de otro modo no solo reduciría la exposición sino que, además, sería ergonómicamente preferible.

Figura 9.11. Ejemplos de buenas y malas prácticas en relación con el recorrido del cable de soldadura



Buena práctica:

El cable se mantiene lejos del cuerpo del trabajador, de manera que la exposición al campo se mantiene en un nivel bajo.

Los cables de alimentación y retorno se mantienen juntos en la medida de lo posible, de manera que la anulación de campos reduzca la magnitud de estos en el entorno de trabajo.



Mala práctica:

En este ejemplo, el trabajador soporta el peso del cable de soldadura sobre el hombro. Ello acerca el cable a la cabeza y al cuerpo e incrementa así la exposición.

Cable apoyado en el hombro



Mala práctica:

En este ejemplo, el trabajador soporta el peso del cable de soldadura sobre los hombros, donde forma un bucle. Ello acerca el cable a la cabeza y al cuerpo e incrementa así la exposición.

Cable enrollado alrededor del cuello

Asimismo, en la inspección de partículas magnéticas es práctica habitual el completar la tarea con un ciclo de desmagnetización que, normalmente, genera un campo inicial más intenso que el ciclo de inspección. Sin embargo, a diferencia del ciclo de inspección, no es necesario que el inspector esté cerca de la pieza de trabajo durante la desmagnetización, por lo que constituiría una buena práctica que se alejara durante esta etapa del proceso.

En determinadas situaciones, la desmagnetización se logra haciendo uso de una bobina de desmagnetización (véase el caso práctico sobre el taller de ingeniería en el volumen 2 de la presente guía). Tales bobinas suelen estar dotadas de un carril y una carretilla sobre la que se monta la pieza de trabajo. El uso de bastones para empujar la pieza y la carretilla por la bobina reducirán al mínimo la exposición del operario.

9.5.9. Programas de mantenimiento preventivo

El equipo que genera CEM debe someterse a un programa periódico de mantenimiento preventivo y, si procede, de inspección que garantice que sigue funcionando eficazmente. El mantenimiento adecuado es un requisito de la Directiva sobre la utilización de los equipos de trabajo (véase el apéndice G) y servirá para reducir al mínimo el eventual aumento de las emisiones debido a la degradación de los equipos.

Las medidas técnicas encaminadas a limitar las emisiones o restringir el acceso a los campos deben someterse asimismo a un mantenimiento, una inspección y un examen continuos para garantizar que sigan siendo plenamente eficaces.

La frecuencia de tales actividades de mantenimiento e inspección dependerá de la naturaleza de los equipos, de cómo se utilicen y del entorno en que se ubiquen. En general, los fabricantes de equipos recomendarán unos intervalos de mantenimiento adecuados y ello servirá de guía eficaz en la mayoría de los casos. Sin embargo, en entornos excepcionalmente duros o en caso de uso intensivo de los equipos, el ritmo de deterioro de estos puede acelerarse y, en tales casos, procederá aumentar la frecuencia del mantenimiento y de la inspección.

9.5.10. Restricción del movimiento en campos magnéticos estáticos

El movimiento en campos magnéticos estáticos intensos puede dar lugar a la inducción de campos eléctricos de baja frecuencia en el cuerpo, lo que puede desencadenar una serie de efectos. Estos efectos pueden reducirse al mínimo limitando el alcance y la velocidad del movimiento a través de los campos. Ello es especialmente importante para el movimiento de partes del cuerpo, como la rotación de la cabeza. Mediante formación y/o práctica, los trabajadores pueden aprender a limitar sus movimientos y, de este modo, reducir al mínimo los efectos.

9.5.11. Coordinación y cooperación entre empresarios

En caso de que sea necesario que los trabajadores de más de una empresa trabajen en el mismo sitio, deberá producirse un intercambio de información entre los empresarios, de manera que todos los trabajadores estén adecuadamente protegidos. Esta situación se da, habitualmente, durante la instalación, la puesta en servicio y la revisión de equipos, aunque también puede producirse en otras situaciones. Por ejemplo, es común que los empresarios externalicen buena parte de las funciones auxiliares, como la limpieza, la gestión de los locales, el almacenamiento y la logística, la salud en el trabajo y los servicios informáticos.

En lo que atañe a los CEM, este intercambio de información debe incluir detalles de cualquier restricción que pueda ser necesaria con respecto al acceso a una zona concreta o a las actividades desarrolladas en esta y a los eventuales riesgos para los trabajadores con riesgos particulares. Tales restricciones tendrán que acordarlas los empresarios y cada uno de ellos garantizará que sus trabajadores las respeten.

9.6. Equipos de protección individual

Los principios de prevención de la Directiva marco (véase el cuadro 9.1) aclaran que la protección colectiva siempre debe primar sobre las medidas de protección individuales. Sin embargo, en ocasiones puede ser inviable aplicar medidas técnicas u organizativas que garanticen una protección colectiva adecuada. En tales situaciones, puede ser necesario recurrir a equipos de protección individual.

Como se ha señalado anteriormente en la sección dedicada a las medidas técnicas, es relativamente sencillo ofrecer protección frente a los campos eléctricos pero es complicado lograr una protección eficaz frente a los campos magnéticos. Por ello, no suele ser viable utilizar equipos de protección individual frente a los campos magnéticos. La eficacia de la protección personal depende de la frecuencia del campo, de manera que los equipos de protección adecuados para un intervalo de frecuencias pueden no serlo para otro.

La elección del equipo adecuado dependerá de la situación concreta y de la naturaleza de los riesgos que se desee prevenir. Por ello, en situaciones distintas, unos zapatos, unas botas o unos guantes aislantes o conductores pueden ser, todos ellos, eficaces para reducir los riesgos. En caso de que se requiera el uso de calzado aislante, será normalmente adecuado procurarse unas botas de trabajo robustas o unos zapatos con suelas de goma gruesas. Si una evaluación concluye que aquellos no son adecuados, podría ser necesario recurrir a un proveedor especializado de equipos de seguridad.

Las gafas protectoras pueden utilizarse para proteger los ojos de los campos de alta frecuencia. En ciertas situaciones puede ser necesario el uso de trajes protectores integrales, aunque ha de señalarse que estos pueden introducir nuevos riesgos al impedir el movimiento o la pérdida de calor de quien los lleve.

El equipo de protección individual debe mantenerse adecuadamente e inspeccionarse regularmente para garantizar que siga siendo apto para su finalidad.

Debe considerarse si el equipo de protección individual que se lleva para prevenir otros riesgos es compatible con los derivados de la presencia de CEM intensos. Por ejemplo, el uso de botas de seguridad con punteras de acero puede ser inadecuado en un entorno con fuertes campos magnéticos estáticos, mientras que los campos magnéticos de baja frecuencia, si son lo bastante intensos, calentarán la pieza de acero. Ciertos trajes de protección incorporan componentes electrónicos y estos pueden sufrir interferencias en campos intensos. Pueden identificarse problemas similares en relación con los protectores auditivos activos.

10. PREPARACIÓN PARA EMERGENCIAS

En caso de que los empresarios manejen equipos o lleven a cabo actividades que puedan dar lugar a incidentes adversos, deberán contar con planes de emergencia para gestionar las consecuencias. En este contexto, entre los incidentes adversos cabría incluir las situaciones en las que alguien sufre lesiones o enferma, y percances o circunstancias no deseadas. Entre los incidentes adversos también se pueden incluir situaciones en las que se supera un valor límite de exposición (VLE) aunque nadie sufra lesiones (y no se aplica ninguna excepción). Podría citarse, a modo de ejemplo, el caso en que un antenista entra involuntariamente en la zona de exclusión de un transmisor de alta potencia antes de que se haya desconectado.

Los incidentes adversos también pueden deberse a efectos indirectos como la interferencia con dispositivos médicos implantados o la ignición de un ambiente inflamable. Otro ejemplo podría referirse a la atracción de un objeto ferromagnético al tubo central de una unidad de RMN debido al intenso campo magnético (el denominado «efecto proyectil»).

Cuadro 10.1. Hipótesis que deben preverse en los planes de contingencia

Los planes de contingencia deben prever acciones y responsabilidades en caso de que:
la exposición real de los trabajadores supere un VLE (sin que se aplique una excepción)
se produzca realmente un incidente adverso derivado de un efecto indirecto
se sospeche que la exposición de los trabajadores supera un VLE
se produzca un percance o una consecuencia no deseada en relación con un efecto indirecto

10.1. Elaboración de planes

La evaluación de riesgos elaborada con arreglo al artículo 4 de la Directiva CEM debe permitir al empresario identificar incidentes adversos razonablemente previsibles (véase el capítulo 5 de la presente guía). Una vez que el empresario haya identificado y comprendido la naturaleza de estos posibles incidentes adversos, será posible elaborar planes para gestionar las consecuencias. En ciertos casos, los fabricantes pueden incluir procedimientos de emergencia en su documentación y estos gozarán de prioridad.

La mayoría de empresarios cuenta ya con planes de emergencia generales y los incidentes adversos derivados de la exposición a CEM podrían incluirse en tales regímenes. Los planes de emergencia pueden incluir indicaciones para la administración de primeros auxilios y la realización del examen médico posterior (véase el capítulo 11 de la presente guía). En cualquier caso, el nivel de detalle y la complejidad de los planes dependerán del riesgo. En general, constituye una buena práctica llevar a cabo simulacros referidos a los planes de emergencia para identificar deficiencias y mantenerlos frescos en el recuerdo.

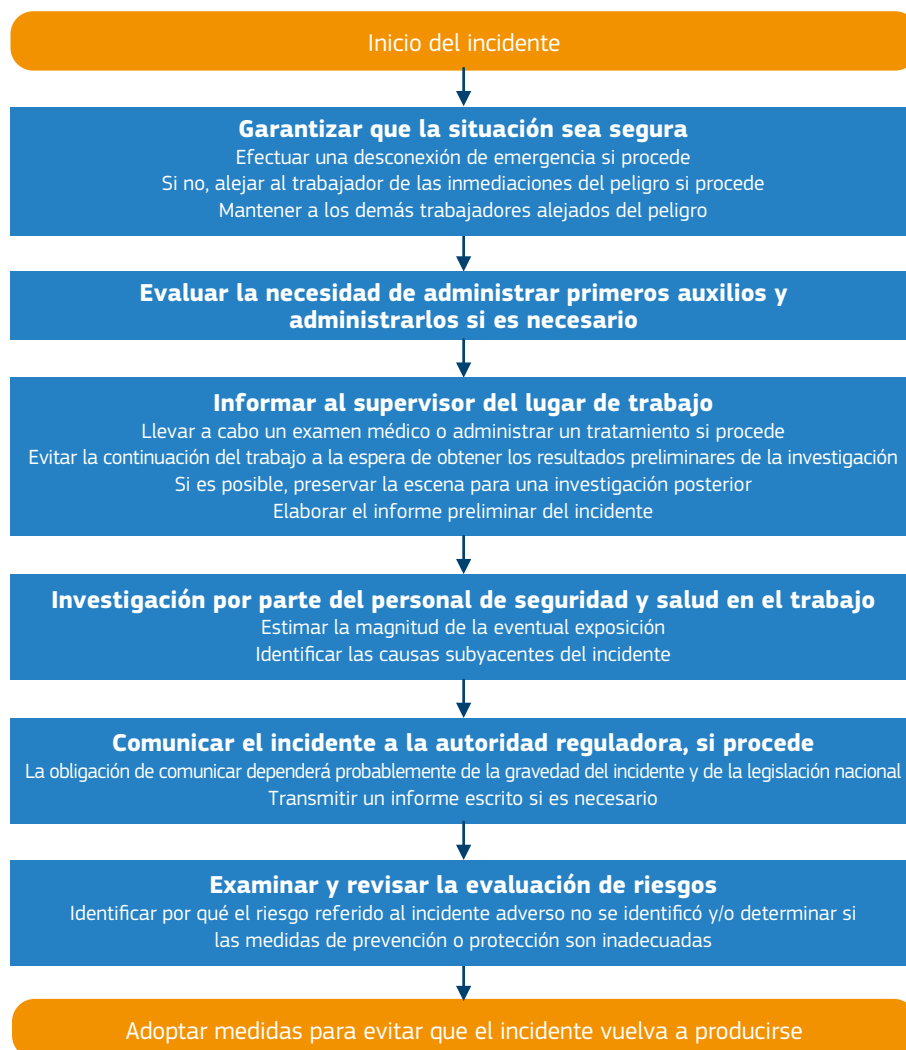
10.2. Respuesta ante incidentes adversos

La respuesta ante cualquier incidente adverso será inevitablemente dinámica y se basará en su naturaleza y su gravedad. En la figura 10.1 se ilustra una concatenación típica de acontecimientos en respuesta a un incidente. No todas las acciones serán necesariamente adecuadas en todos los incidentes adversos.

El informe inicial sobre el incidente adverso debe contener cuanta información sea posible, al objeto de facilitar la investigación posterior. El informe incluirá, normalmente:

- una descripción de la naturaleza del incidente adverso;
- cómo se ha producido el incidente adverso;
- detalles de todo el personal implicado y su ubicación al producirse el incidente adverso;
- detalles de cualquier lesión sufrida;
- características de la fuente de CEM en cuestión
 - frecuencia,
 - potencia,
 - intensidades y tensiones de funcionamiento,
 - ciclo de servicio (si procede).

Figura 10.1. Concatenación de acontecimientos en una respuesta típica a un incidente



En el informe del Instituto de Salud en el Trabajo de Finlandia (Alanko y cols., 2014) se ofrece información adicional sobre la gestión de la exposición accidental a campos de RF. Se incluyen en el apéndice plantillas para un informe de incidentes inicial y un informe técnico.

11. RIESGOS, SÍNTOMAS Y VIGILANCIA DE LA SALUD

El artículo 8 de la Directiva CEM se refiere a la vigilancia de la salud de los trabajadores, que debe cumplir las disposiciones del artículo 14 de la Directiva marco. Es probable que los regímenes de vigilancia de la salud relativos a los campos electromagnéticos se adapten a partir de los sistemas ya vigentes en los Estados miembros. La aportación de registros sanitarios debe adecuarse a la legislación y las prácticas nacionales.

11.1. Riesgos y síntomas

Los efectos de la exposición a campos electromagnéticos se resumen en el capítulo 2, donde se ofrecen detalles adicionales acerca de los efectos en la salud descritos en el apéndice B. Las exposiciones por encima de los valores límite de exposición (VLE) pueden ocasionar efectos en los tejidos nerviosos y los músculos, en el caso de los campos de baja frecuencia, o de calentamiento si se trata de campos de alta frecuencia. Tocar objetos metálicos puede causar choques eléctricos y quemaduras en ambos intervalos de frecuencias. Por lo general, para que se produzcan lesiones físicas, los campos o las exposiciones tienen que situarse muy por encima de los niveles de actuación (NA) o de los VLE. Los NA y los VLE incorporan un margen de seguridad, de manera que una única exposición breve justo por encima de los límites puede no ocasionar consecuencias adversas.

11.1.1. Campos magnéticos estáticos (0 a 1 Hz) ⁽¹⁾

Los campos magnéticos estáticos con una densidad de flujo magnético superior a 0,5 mT pueden causar interferencias en dispositivos médicos implantados activos, tales como marcapasos y desfibriladores, o en dispositivos médicos corporales, tales como bombas de infusión de insulina. Tales interferencias podrían acarrear consecuencias muy graves.

La exposición a campos magnéticos estáticos muy por encima de los VLE relacionados con efectos en la salud puede producir cambios en el flujo sanguíneo en las extremidades y/o en la frecuencia cardíaca. Estos efectos no se comprenden plenamente en la actualidad y puede que no constituyan un riesgo para la salud.

La presencia o el movimiento en campos magnéticos estáticos intensos puede causar vértigo, náuseas u otros efectos sensoriales. También se pueden producir cambios menos obvios en la atención, la concentración u otras funciones intelectuales, lo que a su vez podría tener repercusiones negativas en el desempeño profesional y en la seguridad. Podrían inducirse una estimulación nerviosa y contracciones musculares involuntarias al efectuar movimientos rápidos con una exposición de todo el cuerpo superior a 8 T o en situaciones que entrañen un cambio rápido de la densidad de flujo magnético. Estos efectos son reversibles, de manera que es improbable que los síntomas persistan una vez haya finalizado la exposición.

⁽¹⁾ Científicamente, los campos magnéticos estáticos tienen una frecuencia de 0 Hz, pero a los efectos de la Directiva CEM su frecuencia se define dentro del intervalo 0-1 Hz.

11.1.2. Campos magnéticos de baja frecuencia (1 Hz a 10 MHz)

La exposición a campos de baja frecuencia por debajo del nivel de actuación (NA) inferior puede causar interferencias en el funcionamiento normal de dispositivos médicos implantados activos o en dispositivos médicos corporales. Cualquier funcionamiento defectuoso podría tener consecuencias graves. La presencia de implantes pasivos metálicos puede generar campos eléctricos intensos en zonas localizadas del cuerpo, mientras que el propio implante puede calentarse por inducción, lo que podría causar lesiones térmicas.

El primer síntoma de una exposición excesiva de otros trabajadores puede producirse cuando estos dicen ver imágenes vagas y centelleantes (fosfenos), que pueden distraerlos o resultarles molestas. No obstante, el máximo nivel de sensibilidad se produce a una frecuencia de 16 Hz y, para que se produzcan fosfenos a otras frecuencias, los campos tienen que ser muy intensos, muy por encima de los niveles con los que suelen encontrarse los trabajadores. Además, los trabajadores pueden experimentar sensaciones de náuseas o vértigo y pueden producirse asimismo sutiles cambios en su modo de razonar, resolver problemas y adoptar decisiones durante la exposición, lo que ocasionaría efectos perjudiciales en el desempeño profesional y la seguridad. Al igual que sucede en el caso de los campos magnéticos estáticos, estos efectos son reversibles, de manera que es improbable que los síntomas persistan una vez haya finalizado la exposición.

Puede producirse una estimulación nerviosa, que produzca cosquilleo o sensaciones de dolor, así como tics incontrolados y otras contracciones musculares y, en presencia de campos externos muy intensos, puede verse afectado incluso el corazón (arritmia). En la práctica, estos efectos solo se producirán a unas intensidades de campo muy por encima de las que se dan comúnmente en los lugares de trabajo.

Además, pueden producirse efectos de calentamiento a exposiciones próximas al límite superior de este intervalo de frecuencias (véase el apartado 11.1.4).

11.1.3. Campos eléctricos de baja frecuencia (1 Hz a 10 MHz)

Los campos eléctricos de baja frecuencia producirán en los tejidos nerviosos y los músculos efectos similares a los ocasionados por los campos magnéticos. Sin embargo, los primeros indicios de la presencia de campos eléctricos intensos se dan cuando el vello del cuerpo comienza a moverse o a vibrar y cuando los trabajadores comienzan a recibir descargas eléctricas al tocar objetos conductores sin contacto con tierra situados dentro del campo. La vibración del vello puede distraer y ser molesta, mientras que las descargas eléctricas pueden ser irritantes, desagradables o dolorosas, dependiendo de la intensidad del campo. Tocar objetos dentro de campos intensos también puede causar quemaduras.

11.1.4. Campos de alta frecuencia (100 kHz a 300 GHz)

La exposición a campos de alta frecuencia por debajo del nivel de actuación (NA) pertinente puede causar interferencias en el funcionamiento normal de dispositivos médicos implantados activos o en dispositivos médicos corporales. Un eventual funcionamiento defectuoso podría tener consecuencias graves. Los implantes médicos metálicos pasivos pueden actuar como antenas absorbentes, lo que daría lugar a un incremento local de la exposición de los tejidos a la RF y a una posible lesión.

El primer indicio de exposición a campos de alta frecuencia puede ser la sensación de calor, conforme el campo calienta al trabajador o determinadas partes de su cuerpo. Sin embargo, puede que no siempre suceda así y la sensación de calor no es una señal de advertencia fiable. También es posible «oír» campos pulsátiles de entre 300 kHz y 6 GHz, de manera que los trabajadores expuestos podrían percibir chasquidos, zumbidos o silbidos.

Una exposición prolongada de todo el cuerpo puede dar lugar a un aumento de la temperatura corporal. Un aumento de la temperatura de tan solo unos pocos grados puede ocasionar confusión mental, fatiga, dolor de cabeza y otros síntomas de estrés térmico. Una elevada carga de trabajo físico o el trabajo en condiciones de calor y humedad elevados incrementará la probabilidad de que se produzcan tales efectos. La gravedad de los síntomas también depende de la condición física del trabajador, de si está deshidratado o no, y de la ropa que lleve.

Una exposición parcial del cuerpo puede producir un calentamiento localizado o «puntos calientes» en músculos u órganos internos y causar asimismo quemaduras superficiales que aparecen de manera instantánea al exponerse al campo. También podrían producirse lesiones internas graves sin que aparezcan quemaduras evidentes en la piel. Una sobreexposición local intensa puede causar daños en los músculos y los tejidos circundantes en las extremidades expuestas (síndrome compartimental medial), que se desarrollarán de inmediato o al cabo de unos días, a lo sumo. En general, la mayoría de los tejidos tolera aumentos de temperatura durante períodos breves sin que ello ocasione daños, aunque una temperatura de 41 °C durante más de 30 minutos producirá daños.

También puede producirse una disminución temporal del recuento de espermatozoides en caso de exposiciones que ocasionen un calentamiento sustancial de los testículos y el calentamiento puede entrañar el riesgo de aborto durante las primeras fases del embarazo.

El ojo es sensible al calor y una exposición muy elevada, muy por encima del VLE, puede causar la inflamación de la esclerótica, el iris o la membrana conjuntiva. Entre los síntomas cabe incluir el enrojecimiento, el dolor de ojos, la sensibilidad a la luz y la contracción pupilar. Las cataratas (opacidad del cristalino) son infrecuentes pero también pueden constituir un efecto tardío de la exposición, y pueden precisar de semanas o meses para desarrollarse tras la exposición. No existe información que apunte a que puedan producirse varios años después de la exposición.

En campos de alta frecuencia (en torno a 6 GHz y superiores) la absorción de energía va volviéndose superficial. Estos campos los absorberá la córnea del ojo, aunque para que se produzcan quemaduras serán necesarias unas exposiciones muy superiores al VLE. La piel también absorberá estos campos de alta frecuencia y, a exposiciones lo bastante altas, ello puede dar lugar a dolor y quemaduras.

Los trabajadores pueden sufrir choques eléctricos o quemaduras de contacto al tocar antenas en funcionamiento o al entrar en contacto con grandes objetos metálicos que no estén conectados a tierra, tales como automóviles, situados dentro del campo. Pueden producirse efectos similares en caso de que un trabajador que no esté conectado a tierra toque un objeto metálico que sí lo está. Estas quemaduras pueden ser superficiales o profundas. Los implantes metálicos, incluidos los empastes y los «piercings» (así como las joyas y ciertos pigmentos de tatuajes) pueden concentrar el campo, lo que daría lugar a un calentamiento localizado y a quemaduras térmicas. Una exposición elevada de las manos también puede ocasionar daños nerviosos.

Los informes de casos de trabajadores sobreexpuestos apuntan a que pueden darse otros síntomas. Entre ellos se incluyen dolores de cabeza, trastornos intestinales, letargo y sensaciones duraderas de pinchazos en los tejidos expuestos.

Ciertas reacciones de estrés pueden estar asociadas a una exposición real o supuesta.

Cuadro 11.1. Efectos y síntomas asociados a exposiciones por encima de los VLE relacionados con efectos en la salud

Campo	Frecuencia	Posibles efectos y síntomas
Campos magnéticos estáticos	0-1 Hz	Interferencia con aparatos médicos Náuseas y vértigo. Efectos en la circulación sanguínea, la frecuencia cardíaca, las funciones cerebrales (posibles por encima de 7 T) Estimulación nerviosa y contracción muscular (movimientos rápidos)
Campos magnéticos de baja frecuencia	1 Hz-10 MHz	Interferencia con aparatos médicos Sensaciones ópticas Estimulación nerviosa que produce sensaciones de cosquilleo o dolor Contracción muscular, arritmia cardíaca
Campos eléctricos de baja frecuencia	1 Hz-10 MHz	Choques eléctricos y quemaduras superficiales (al tocar objetos)
Campos de alta frecuencia	100 kHz y más	Interferencia con aparatos médicos Sensación de calor Estrés térmico Choque y quemaduras superficiales o profundas (al tocar objetos) Otros síntomas posibles

Los campos intermedios (100 kHz-10 MHz) producirán una mezcla de los síntomas ocasionados por las bajas y las altas frecuencias.

11.2. Vigilancia de la salud

Debe llevarse a cabo una vigilancia sistemática de la salud de los trabajadores si así lo requieren la legislación y las prácticas nacionales. Sin embargo, en ausencia de riesgos o síntomas conocidos derivados de exposiciones a campos electromagnéticos por debajo de los VLE, no existe una base para la realización de exámenes médicos periódicos. La vigilancia puede estar justificada por otros motivos.

Entre los trabajadores con riesgos particulares relacionados con los campos electromagnéticos se incluyen mujeres embarazadas y las personas que llevan implantados dispositivos médicos activos o pasivos o llevan en el cuerpo dispositivos médicos. Estos trabajadores deben acudir periódicamente a la consulta del servicio de medicina laboral para garantizar que el trabajador comprenda enteramente las eventuales restricciones adicionales que se le impongan en su entorno de trabajo. Estas consultas también brindarán al trabajador la oportunidad de comunicar cualesquiera efectos en la salud no deseados o imprevistos y de mantener la situación controlada.

Los reconocimientos médicos también pueden ser adecuados en el caso de los trabajadores que padezcan un efecto en la salud imprevisto o no deseado.

11.3. Reconocimientos médicos

Las sobreexposiciones accidentales que causen lesiones o daños se tratarán como otros accidentes laborales, con arreglo a la legislación y las prácticas nacionales.

Podría ser necesaria la atención inmediata de un profesional sanitario adecuado si el trabajador ha sufrido choques y/o quemaduras, padece dolores o ha experimentado un aumento de su temperatura corporal. Estos efectos deben tratarse del modo habitual con arreglo a los sistemas en vigor en el lugar de trabajo. Los trabajadores que hayan sufrido choques eléctricos o quemaduras se someterán al seguimiento médico de un facultativo que cuente con la experiencia adecuada. Otros trabajadores podrán ser objeto de seguimiento en relación con los síntomas que padezcan, a través de su médico de cabecera o de un médico especializado en salud laboral.

No hay estudios específicos que deban llevarse a cabo tras un caso de sobreexposición a cualquier campo electromagnético. Por ejemplo, no hay pruebas que demuestren que la exposición a CEM causa alteraciones en los parámetros hemáticos, como los índices hematimétricos, la urea y los electrolitos, o en la función hepática. Sin embargo, un examen ocular puede ser adecuado en caso de exposición a campos de alta frecuencia y, normalmente, debería repetirse no más tarde de tres meses después del primer examen. Un examen tal lo llevará a cabo, generalmente, un oftalmólogo.

11.4. Registros

Debe ofrecerse la posibilidad de realizar un reconocimiento médico a los trabajadores que se hayan expuesto o se crea que se hayan expuesto a campos de intensidad superior a los VLE. Tales reconocimientos no tendrán ningún coste para el trabajador y se llevarán a cabo durante el horario laboral. El mantenimiento de registros se efectuará con arreglo a la legislación y las prácticas nacionales.

Los registros contendrán un resumen de las acciones llevadas a cabo y se redactarán de un modo que permita su consulta posterior, habida cuenta de los requisitos de confidencialidad. Los trabajadores tendrán acceso, a título personal, a sus propios registros, previa petición.

Los detalles relativos a una sobreexposición real o supuesta se registrarán en cuanto esta se produzca, si ello es posible. Este registro incluirá la intensidad y la duración de la exposición y la frecuencia del campo (para poder calcular la profundidad de la penetración del campo en el cuerpo). También es importante determinar si la exposición ha afectado a todo el cuerpo o solo a partes concretas de este y si el trabajador llevaba un marcapasos u otro aparato médico. En el informe del Instituto de Salud en el Trabajo de Finlandia sobre el trabajo en campos electromagnéticos con un marcapasos (Alanko y cols., 2013) se ofrecen ejemplos de este tipo de registros.

Sección 5

MATERIAL DE REFERENCIA

APÉNDICE A.

NATURALEZA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Probablemente, los campos electromagnéticos más conocidos son los que se dan en la naturaleza. Se cree que el campo magnético de la Tierra, que podemos detectar sobre la superficie del planeta, es el resultado de las corrientes eléctricas generadas en lo más profundo de su núcleo de hierro fundido. Aunque no comprendemos enteramente su origen, el modo en que este campo interactúa con los materiales magnéticos usados en las brújulas lleva siglos usándose en la navegación. Igualmente, las cargas eléctricas generadas en las nubes de tormenta dan lugar a unas tensiones muy altas entre las nubes y la superficie terrestre. Estas tensiones generan campos eléctricos entre las nubes y la tierra que pueden dar lugar a grandes descargas rápidas de corriente eléctrica entre la nube y la tierra, lo que conocemos como rayos.

Figura A.1. Fuentes naturales de campos electromagnéticos: a) una brújula empleada para detectar la dirección del campo magnético estático de la Tierra y b) descargas de alta tensión entre la nube y la Tierra conocidas como «rayos»



A.1. Descubrimiento del electromagnetismo

Los efectos de la electricidad estática y el magnetismo se conocen desde la antigüedad. Sin embargo, el progreso hacia la comprensión de los fenómenos electromagnéticos dio comienzo, probablemente, con el descubrimiento de Luigi Galvani, en 1780, de que se podían provocar espasmos en las ancas de una rana mediante el uso de la electricidad generada por dos metales distintos. Este principio lo utilizó Alessandro Volta un decenio después para crear su pila voltaica.

Los descubrimientos fueron adquiriendo velocidad en Europa y, para 1820, Hans Christian Oersted había demostrado la relación entre las corrientes eléctricas y los campos magnéticos, al desviar la aguja de una brújula acercándole un cable por el que circulaba una corriente eléctrica. André-Marie Ampère descubrió que los cables por los que circula corriente ejercen fuerzas recíprocas y Michael Faraday estudió la inducción magnética.

Unos años después, James Clerk Maxwell formuló la teoría del electromagnetismo con base matemática y publicó su *Tratado de la electricidad y el magnetismo* en 1873. Las ideas de Maxwell sobre las ondas electromagnéticas siguen siendo hoy la base de la teoría electromagnética.

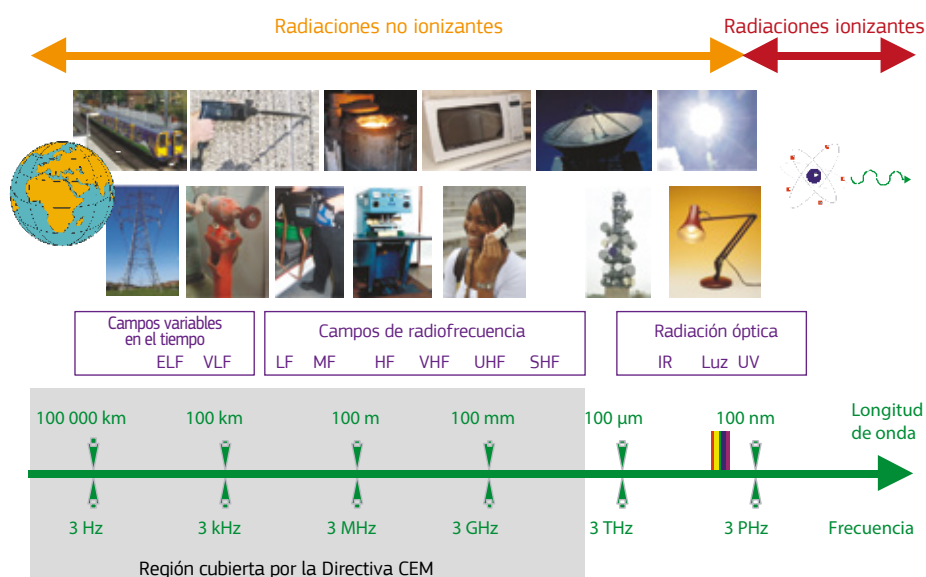
Heinrich Hertz confirmó las ideas de Maxwell al generar y detectar ondas electromagnéticas en 1885 y, un decenio después, Guglielmo Marconi se sirvió de este descubrimiento para enviar mensajes a larga distancia por medio de señales de radio. Nikolai Tesla construyó el primer generador de corriente alterna en 1892, lo que revistió gran importancia para la generación de energía eléctrica.

Los campos electromagnéticos son moneda corriente en el mundo moderno. Es difícil imaginar una sociedad moderna sin aparatos eléctricos. Durante el siglo XX se produjo un inmenso crecimiento del uso de la energía eléctrica con fines industriales y domésticos. Se produjeron incrementos similares en relación con la radiodifusión de contenidos radiofónicos y televisivos y a finales del siglo XX y comienzos del XXI se produjo una revolución en las telecomunicaciones, con el uso, hoy generalizado, de teléfonos móviles y otros dispositivos inalámbricos. Los campos electromagnéticos también se utilizan frecuentemente en aplicaciones especializadas como las de radionavegación y las médicas.

A.2. El espectro electromagnético

El espectro electromagnético, según se ilustra en la figura A.2., comprende una amplia gama de radiaciones de frecuencias y longitudes de onda distintas. La relación entre frecuencia y longitud de onda se explica en el apéndice C. La parte de este espectro cubierta por la Directiva CEM va de los campos estáticos (0 Hz) a los campos electromagnéticos variables en el tiempo con frecuencias de hasta 300 GHz (0,3 THz). Dentro de este intervalo puede encontrarse la radiación comúnmente denominada campos estáticos, campos variables en el tiempo y ondas de radio (incluidas las microondas). Entre las secciones del espectro electromagnético no cubiertas por la Directiva CEM se incluye la región óptica (infrarroja, visible y ultravioleta) y la región ionizante. Estas secciones se tratan en la Directiva 2006/25/CE sobre las radiaciones ópticas artificiales y en la Directiva 2013/59/Euratom sobre normas de seguridad básicas, respectivamente.

Figura A.2. El espectro electromagnético

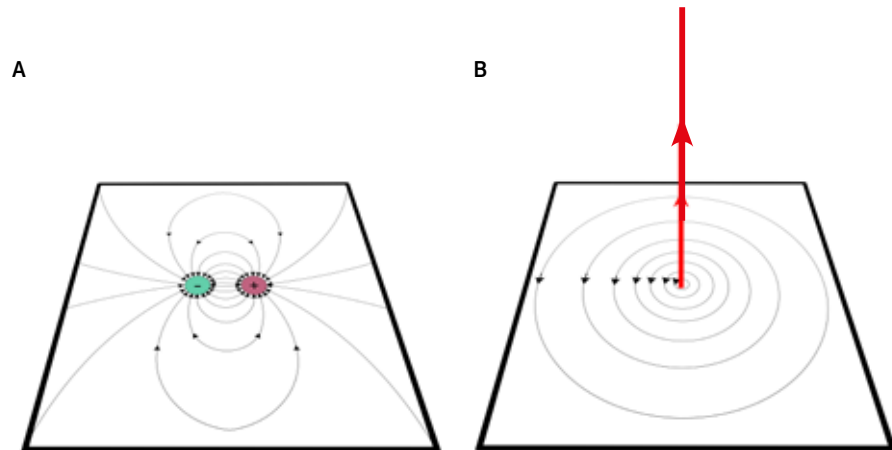


La radiación electromagnética en el intervalo de frecuencias cubierto por la Directiva CEM no tiene energía suficiente como para desplazar electrones de los átomos de un material y, por lo tanto, se clasifica como no ionizante. Los rayos X y los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas de alta energía, capaces de desplazar los electrones orbitales y, por lo tanto, se clasifican como radiación ionizante.

A.3. Generación de campos electromagnéticos

Las cargas eléctricas generan un campo eléctrico. Cuando se desplazan, creando una corriente eléctrica, también se produce un campo magnético. La Directiva trata los riesgos para la seguridad y la salud que entrañan estos campos eléctricos y magnéticos en el lugar de trabajo.

Figura A.3. Representaciones de líneas de campo alrededor de: a) cargas eléctricas y b) una corriente eléctrica que circula, representada como una línea roja



La generación de un campo magnético alrededor de un imán permanente se debe a la suma de todos los campos magnéticos producidos por el alineamiento del movimiento de electrones en el material. En un material no magnético no existe tal alineamiento, de manera que los minúsculos campos magnéticos generados alrededor de cada átomo se anulan.

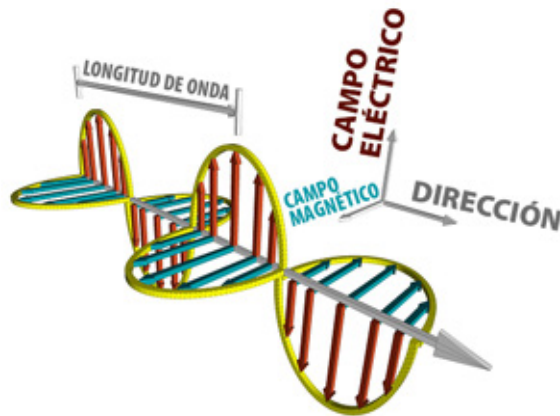
A.3.1. Campos variables en el tiempo

Si la carga eléctrica de un objeto cambia con el tiempo o el flujo de la carga (corriente) varía, se generarán campos variables en el tiempo. La frecuencia de las oscilaciones rige la naturaleza de estos campos. A bajas frecuencias, los campos eléctricos y magnéticos pueden considerarse independientes. A medida que aumenta la frecuencia y se adentra en la región de la radiofrecuencia, los campos van acoplándose progresivamente: un campo eléctrico variable en el tiempo induce un campo magnético y viceversa. Es la interacción entre campos eléctricos y magnéticos lo que permite que la radiación electromagnética recorra largas distancias.

A.3.2. Radiación de campos electromagnéticos

La interacción entre los campos eléctricos y magnéticos en el ámbito de la radiofrecuencia permite la radiación de energía desde el punto de generación. En el campo lejano, los dos componentes, un campo eléctrico y un campo magnético, oscilan en ángulo recto uno con respecto al otro y en ángulo recto con respecto a la dirección en que se desplaza la onda. Lo hace a la misma velocidad a que se desplaza la luz. El diseño del transmisor permitirá la emisión de la radiación en todas las direcciones o concentrada en una dirección concreta.

Figura A.4. La radiación electromagnética consiste en un componente de campo magnético y otro de campo eléctrico que oscilan en ángulo recto uno con respecto al otro y se desplazan a la velocidad de la luz



APÉNDICE B.

EFFECTOS EN LA SALUD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

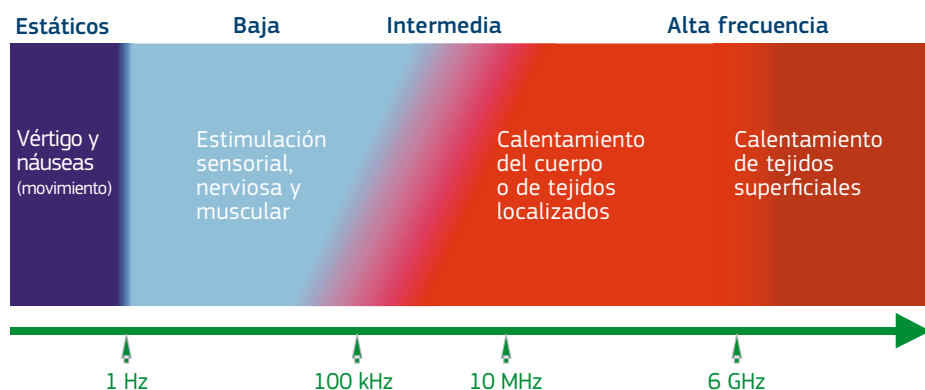
B.1. Introducción

La naturaleza de cualquier respuesta causada por la exposición a un campo electromagnético depende fundamentalmente de la frecuencia del campo aplicado. Ello se debe a que las distintas frecuencias interactúan con el cuerpo de modos diversos, lo que supone que los efectos de los campos de baja frecuencia no son los mismos que los que producen las frecuencias más altas: los campos de baja frecuencia causan estimulación nerviosa y muscular, mientras que los campos de alta frecuencia causan un calentamiento.

Sobre la base de su interacción con las personas, los campos electromagnéticos pueden dividirse en cuatro categorías generales (figura B.1): los de frecuencias de entre 0 y 1 Hz (campos estáticos), los de frecuencias de entre 1 Hz y 100 kHz (campos de baja frecuencia), los de frecuencias de entre 100 kHz y 10 MHz (campos de frecuencia intermedia) y los de frecuencias superiores a 10 MHz (campos de alta frecuencia). Si la frecuencia es superior a varios GHz, el calentamiento se limita cada vez más a la superficie del cuerpo.

La Directiva CEM considera que los efectos derivados de la estimulación del sistema nervioso son no térmicos, mientras que los efectos del calentamiento producido de resultas de la exposición a campos de más de 100 kHz son térmicos.

Figura B.1. Representación esquemática de los más importantes efectos directos de los CEM que ilustra los principales puntos de corte de frecuencias empleados para la definición de los valores límite de exposición y los niveles de actuación en la Directiva CEM



La magnitud de la respuesta a cualquier frecuencia dada depende de la intensidad del campo, produciendo los campos más débiles efectos sensoriales o sobre la percepción y los más intensos unas respuestas más graves. Para que se produzca cualquier respuesta, a cualquier frecuencia, es necesario superar un valor de exposición umbral.

La Directiva CEM ofrece protección a los trabajadores expuestos estableciendo una serie de valores límite de exposición (VLE). Para cada intervalo de frecuencias existe un valor inferior referido a efectos sensoriales límite y un valor superior relativo a efectos en la salud límite (véase el cuadro B.1). Estos valores se basan en recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y consideran únicamente los efectos a corto plazo de la exposición, basados en mecanismos de interacción biofísica contrastados.

Cuadro B.1. Resumen de efectos en la salud y sensoriales pertinentes empleados para limitar la exposición en diversas regiones de frecuencias

Campo y frecuencia	Efectos sensoriales	Efectos en la salud
Campo magnético estático 0-1 Hz	Vértigo, náuseas, sabor metálico en la boca	Alteración de la circulación sanguínea en las extremidades, alteración de las funciones cerebrales Alteración de la función cardíaca
Campos de baja frecuencia 1 Hz-10 MHz	Fosfenos (percibidos como luces centelleantes) (Cambios leves de las funciones cerebrales 1-400 Hz)	Sensación de cosquilleo o dolor (estimulación nerviosa) Espasmos musculares Alteración del ritmo cardíaco
Campos de alta frecuencia 100 MHz-6 GHz	Efecto auditivo por microondas (200 MHz-6,5 GHz)	Calentamiento excesivo de todo el cuerpo o de zonas localizadas o quemaduras
Campos de alta frecuencia 6-300 GHz		Daños térmicos localizados en los ojos o la piel
<i>Nota:</i> Los efectos de los campos de frecuencia intermedia (100 kHz-10 MHz) son una combinación de los efectos de los de baja y alta frecuencia.		

Aunque siempre es posible que una exposición reiterada y a largo plazo entrañe riesgos para la salud, la Directiva CEM establece que su ámbito de aplicación no comprende supuestos efectos a largo plazo.

B.2. Campos magnéticos estáticos (0-1 Hz)

A las personas inmóviles no suelen afectarles los campos magnéticos estáticos, salvo quizás en caso de intensidades muy elevadas, que podrían producir efectos en el corazón o el cerebro (véase el cuadro B.1). No obstante, se manifiestan efectos cuando las personas se mueven dentro de tales campos. El movimiento causa la generación de campos eléctricos en los tejidos y aquellos pueden afectar a los tejidos nerviosos. Ciertos estudios recientes apuntan a que tales efectos también podrían producirse en posición estática. La magnitud de los campos eléctricos inducidos depende de los gradientes temporales y espaciales.

Los órganos del equilibrio del oído son especialmente sensibles, lo que conlleva sensaciones de mareo (vértigo) mientras se camina o se mueve la cabeza rápidamente dentro de un campo. La lengua también puede verse afectada, con ciertas sensaciones gustativas, y hay trabajadores que han declarado asimismo haber sentido náuseas u otros síntomas mientras trabajaban en torno a aparatos de RM en funcionamiento. Todos estos efectos son transitorios y concluyen cuando se para o se ralentiza el movimiento.

No existen pruebas de que la exposición cause afecciones permanentes o efectos adversos graves. Desplazarse lentamente por el campo contribuirá a evitar que se produzcan estos efectos, mientras que la limitación de la densidad de flujo magnético externo a 2 T protegerá al trabajador.

B.3. Campos de baja frecuencia (1 Hz-100 kHz)

B.3.1. Campos eléctricos de baja frecuencia

Los campos eléctricos de baja frecuencia externos al cuerpo pueden inducir campos eléctricos dentro de los tejidos del cuerpo. Sin embargo, la superficie del cuerpo ofrece un alto grado de protección, de modo que el campo inducido en su interior es de magnitud mucho menor que el campo externo.

En principio, los campos eléctricos inducidos podrían producir efectos similares a los de los campos inducidos a través de la exposición a campos magnéticos de baja frecuencia (véase la sección B.3.2). Sin embargo, la consecuencia de ese efecto de protección es que el campo eléctrico inducido suele ser demasiado débil como para producir efectos adversos en el caso de los campos eléctricos externos que se encuentran en el lugar de trabajo.

Además, los campos eléctricos de baja frecuencia producen otro efecto que no se da en el caso de los campos magnéticos. Un trabajador puede experimentar una sensación de pinchazos u hormigueo en la piel al hallarse de pie dentro de un campo eléctrico de intensidad suficiente; esta sensación puede experimentarse en ocasiones bajo una línea de alta tensión en un día seco. Esto se produce porque el campo eléctrico de baja frecuencia causa que la superficie del cuerpo se cargue y esta carga eléctrica desencadena el movimiento y la vibración del vello (a una frecuencia dos veces superior a la del campo de baja frecuencia). Pueden experimentarse sensaciones similares al vibrar el vello y rozando la ropa.

B.3.2. Campos magnéticos de baja frecuencia

Los campos magnéticos de baja frecuencia inducirán campos eléctricos en el cuerpo humano, lo que puede causar la estimulación de los órganos sensoriales a unos valores de campo más bajos, o bien la estimulación de nervios y músculos (sobre todo en brazos y piernas) en presencia de campos más intensos. Los efectos en los órganos sensoriales no son nocivos pero pueden ser molestos o distraer a los trabajadores, mientras que los efectos de los campos más intensos pueden ser desagradables e, incluso, dolorosos.

Los distintos tejidos presentan una sensibilidad máxima frente a diversas frecuencias, de manera que los efectos experimentados también pueden cambiar con la frecuencia.

Cuadro B.2. Lugares de interacción y sensibilidades máximas en relación con distintos efectos

Efecto	Lugar de interacción	Sensibilidad máxima (Hz)
Percepción gustativa metálica	Receptores de la lengua	< 1 Hz
Vértigo, náuseas Estimulación nerviosa y muscular	Oído interno (sistema vestibular) Campos eléctricos inducidos por el flujo sanguíneo en ciertos tejidos	< 0,1-2 Hz
Fosfenos	Células retinianas del ojo	~ 20 Hz
Sensación táctil y de dolor Contracción muscular inducida Efectos en el corazón	Nervios periféricos Nervios y músculos periféricos Corazón	~ 50 Hz

Los ojos parecen ser muy sensibles a los efectos de los campos eléctricos inducidos y el efecto más citado de la exposición son los fosfenos, que son sensaciones visuales vagas y centelleantes en la periferia de la visión (un efecto hasta cierto punto similar al que se produce cuando se frotan suavemente los ojos cerrados). Limitar el campo eléctrico inducido en el sistema nervioso evitará estos efectos y ofrecerá protección al trabajador.

Estos efectos de carga superficial no se limitan a las personas, sin embargo, y cualquier objeto metálico o conductor, como vehículos o vallas sin contacto con tierra podrán verse cargados por el campo eléctrico. Cualquiera que toque tales objetos recibirá un pequeño choque eléctrico. Mientras que un solo choque producirá sobresalto, el recibir choques reiteradamente por tocar el objeto en cuestión podría volverse molesto o incluso algo peor. También es posible que reciba una descarga alguien que no mantiene contacto con tierra al tocar un objeto que sí está puesto a tierra. Para ofrecer la protección necesaria, puede ser necesario dar formación a quienes trabajan en tales condiciones, así como disponer de unos controles de puesta a tierra adecuados de los objetos y los trabajadores, aparte de utilizarse calzado aislante, guantes y ropa de protección.

B.4. Campos de frecuencia intermedia

Los campos intermedios representan una zona de transición entre los campos de baja frecuencia y los de alta frecuencia. En este ámbito se produce un cambio gradual desde los efectos en el sistema nervioso hasta los efectos de calentamiento, siendo los primeros predominantes a 100 kHz y los últimos a 10 MHz.



Mensaje clave: campos de frecuencia intermedia

Los campos de frecuencia intermedia se definen en la presente guía como aquellos cuyas frecuencias se sitúan entre 100 kHz y 10 MHz y que pueden producir efectos no térmicos y térmicos.

En otros documentos podrían utilizarse otras definiciones de campos de frecuencia intermedia. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud define los campos de frecuencia intermedia como los de frecuencias situadas entre 300 Hz y 10 MHz.

B.5. Campos de alta frecuencia

La exposición de las personas a campos de frecuencia por encima de 100 kHz causa calentamiento a través de la absorción de energía. Dependiendo de la situación, ello puede dar lugar al calentamiento de todo el cuerpo o al calentamiento localizado de ciertas partes, tales como las extremidades o la cabeza.

Un adulto sano suele ser capaz de regular la temperatura global de su cuerpo muy eficazmente y de mantener un equilibrio entre los mecanismos de generación y de pérdida de calor. Sin embargo, los mecanismos de pérdida de calor normales podrían no ser capaces de dar abasto si el ritmo al que se absorbe la energía es demasiado alto, lo que daría lugar a un aumento gradual y continuo de la temperatura corporal de en torno a 1 °C o más, lo que a su vez causaría estrés térmico. Ello no solo perjudica la capacidad de una persona de trabajar con seguridad sino que un aumento prolongado de la temperatura corporal interna, sea de unos pocos grados o mayor, puede ser muy peligroso.

Limitar la tasa de energía absorbida (la tasa de absorción específica de energía o SAR) evitará cualquier trastorno relacionado con el calor y ofrecerá protección al trabajador. Puesto que el calentamiento no es instantáneo y el cuerpo puede gestionar un

aumento de la carga térmica durante períodos breves, los valores límite de exposición se promedian a lo largo de un período de seis minutos. Ello permite asimismo que los trabajadores se expongan a unos valores SAR más elevados durante períodos breves, siempre que no se supere el promedio.

Además, los valores límite de exposición son lo bastante prudentes como para que no haya que tener en cuenta otros factores que pueden afectar la regulación de la temperatura, como un elevado ritmo de trabajo manual o el trabajo en entornos calientes y húmedos.

En numerosas situaciones industriales, sin embargo, la exposición no será uniforme y la energía solo se absorberá en ciertas zonas del cuerpo, como las manos y las muñecas. Si se aplicara el límite relativo a todo el cuerpo en estas situaciones, podrían producirse daños térmicos en las zonas expuestas (ya que la energía absorbida se concentraría en una masa de tejido mucho menor). Por ello, la Directiva CEM también facilita valores límite de exposición referidos a partes del cuerpo.

Estos valores se establecen con el fin de evitar un calentamiento excesivo de zonas sensibles del cuerpo, como el (cristalino del) ojo y los testículos (en el caso de los trabajadores varones). Se sabe también que el feto en desarrollo es muy sensible a los efectos de la hipertermia en la madre, por lo que la trabajadora embarazada debe recibir tratamiento de trabajadora con riesgos particulares.

A las frecuencias más altas, de 6 GHz y superiores, los campos no penetran en el cuerpo en un grado significativo y el calentamiento se limita en su mayor parte a la piel. Se ofrecerá protección limitando la energía absorbida por una superficie reducida de piel.

Los campos de radiofrecuencia pulsátiles pueden producir percepciones sensoriales en forma de efectos auditivos por microondas. El oído de una persona normal puede percibir campos pulsátiles modulados de frecuencias situadas entre los 200 MHz y los 6,5 GHz. El sonido en cuestión suele describirse como un zumbido, un chasquido o un estallido, dependiendo de las características de modulación del campo. La duración de los pulsos para que pueda percibirse el campo suele ser del orden de unas decenas de microsegundos.

Al igual que sucede con los campos eléctricos de baja frecuencia, existe el riesgo de recibir un choque o una quemadura si una persona situada dentro de un campo de alta frecuencia toca un objeto conductor. Este riesgo también se trata en la Directiva CEM.

APÉNDICE C.

MAGNITUDES Y UNIDADES DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Los riesgos de los campos electromagnéticos dependen fundamentalmente de la frecuencia y la intensidad del campo. Para evaluar el peligro que representa un campo electromagnético concreto, es necesario caracterizarlo en términos de magnitudes físicas establecidas. Las magnitudes empleadas en la Directiva CEM se describen en las siguientes secciones.

Las magnitudes relativas a los CEM pueden expresarse de modos diversos. Ello es así, sobre todo, en el caso de las pantallas de los instrumentos de medición, en las que el espacio disponible es, en ocasiones, limitado. Familiarizarse con las diversas formas que pueden adoptar las unidades permitirá hacer un mejor uso de cualquier información suministrada. He aquí algunos ejemplos.

- Pueden utilizarse prefijos para modificar la escala de la magnitud de la unidad, de modo que 1 voltio, 1 V, 1 000 mV y 1 000 000 μ V representan el mismo valor. En el cuadro C.1. pueden consultarse los prefijos empleados comúnmente.
- El uso de un superíndice o de un índice de potencia después de una cifra indica la potencia a la que aquella se eleva. De este modo, m^2 equivale a metros cuadrados y su uso denota la medición de una superficie.
- Las unidades pueden expresarse de maneras diversas. De este modo, 100 voltios por metro, 100 V/m, 100 $V \cdot m^{-1}$, 100 Vm^{-1} y 100 Vm^{-1} representan en todos los casos el mismo valor.

Cuadro C.1. Prefijos empleados con unidades del SI

Nombre	Símbolo	Factor de escala
Tera	T	10^{12} , o 1 000 000 000 000
Giga	G	10^9 , o 1 000 000 000
Mega	M	10^6 , o 1 000 000
Kilo	k	10^3 , o 1 000
Milli	m	10^{-3} , o 0,001
Micro	μ	10^{-6} , o 0,000 001
Nano	n	10^{-9} , o 0,000 000 001



Mensaje clave: sistema de notación empleado en la Directiva CEM

Las unidades pueden expresarse en formatos diversos. En la Directiva CEM, las unidades se expresan en el formato Vm^{-1} . La presente guía también se atiene a dicha notación.

La Directiva CEM aplica la convención científica de usar una coma para separar los decimales.

C.1. Frecuencia (f)

Los niveles de actuación (NA) y los valores límite de exposición (VLE) dados en la Directiva CEM se especifican con arreglo a la frecuencia del campo electromagnético. La frecuencia se representa normalmente con la letra f .

La frecuencia de un campo electromagnético representa la cantidad de veces que la cresta de la onda electromagnética pasa por un punto concreto cada segundo. Representa el número de oscilaciones por segundo y es una propiedad fundamental de la onda.

La unidad de frecuencia es el hercio, cuya abreviatura es Hz.

La frecuencia está estrechamente ligada a la longitud de onda de un campo electromagnético, que se representa con el símbolo λ . La longitud de onda se mide en metros, cuya abreviatura es m.

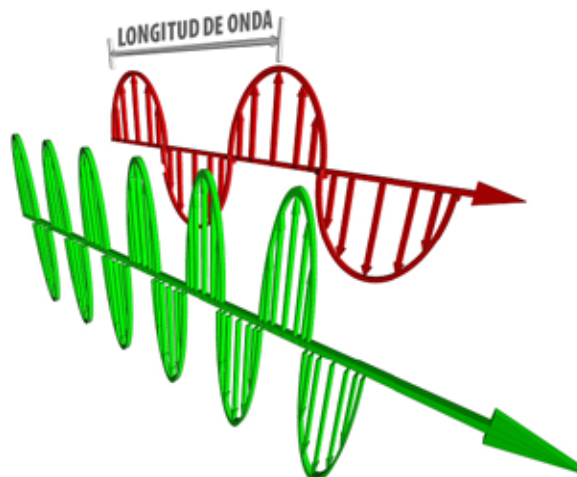
La cantidad de crestas de onda que pasan por un punto determinado en un segundo depende de la longitud de onda, ya que todas las ondas electromagnéticas se desplazan a la misma velocidad en el vacío. Por ello, una longitud de onda mayor entrañará una frecuencia menor (figura C.1).

La frecuencia está relacionada con la longitud de onda según la expresión

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

en la que c es la velocidad de la luz en el vacío ($3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$).

Figura C.1. Ondas electromagnéticas con indicación de su longitud de onda. Una onda con una longitud de onda mayor tendrá una frecuencia menor (en rojo), mientras que las ondas con una longitud de onda menor tendrán una frecuencia mayor (en verde)



C.2. Intensidad de campo eléctrico (E)

La intensidad de campo eléctrico en un punto de un campo eléctrico es la fuerza que actúa sobre una unidad de carga positiva situada en dicho punto. Se trata de una cantidad vectorial y tiene tanto magnitud como dirección. La intensidad de campo eléctrico puede compararse con la pendiente de una colina. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la fuerza que cause que los objetos rueden colina abajo. En el caso de un campo eléctrico, cuanto mayor sea la intensidad de campo eléctrico, mayor será la fuerza sobre una partícula cargada.

La intensidad de campo eléctrico suele representarse con la letra E y se cuantifica en voltios por metro, cuya abreviatura es Vm^{-1} .

Los campos eléctricos pueden existir fuera y dentro del cuerpo. Los NA de los campos eléctricos de menos de 10 MHz y de los campos electromagnéticos de más de 100 kHz se especifican con arreglo a su intensidad de campo eléctrico externo. Los VLE relativos a efectos no térmicos expuestos en el anexo II de la Directiva CEM se especifican con arreglo a la intensidad de campo eléctrico interno dentro del cuerpo.

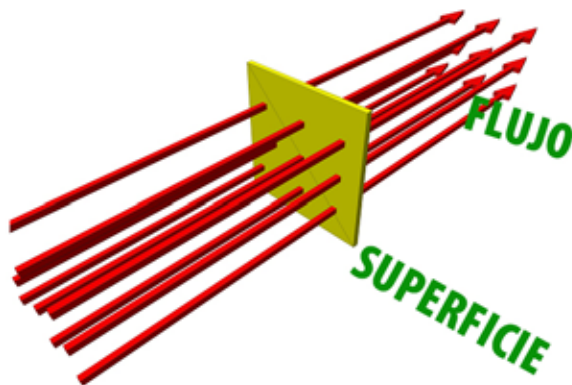
C.3. Densidad de flujo magnético (B)

La densidad de flujo magnético es una medición del flujo magnético que atraviesa una zona concreta (figura C.2). La densidad de flujo magnético es mayor si hay más líneas de campo en una zona concreta, de manera que la densidad de las líneas de flujo es alta. La densidad de flujo magnético da lugar a una fuerza que actúa sobre las cargas en movimiento.

La densidad de flujo magnético representa una medida de la «cantidad de magnetismo». Se trata de una magnitud escalar que tiene en cuenta la intensidad y la extensión de un campo magnético.

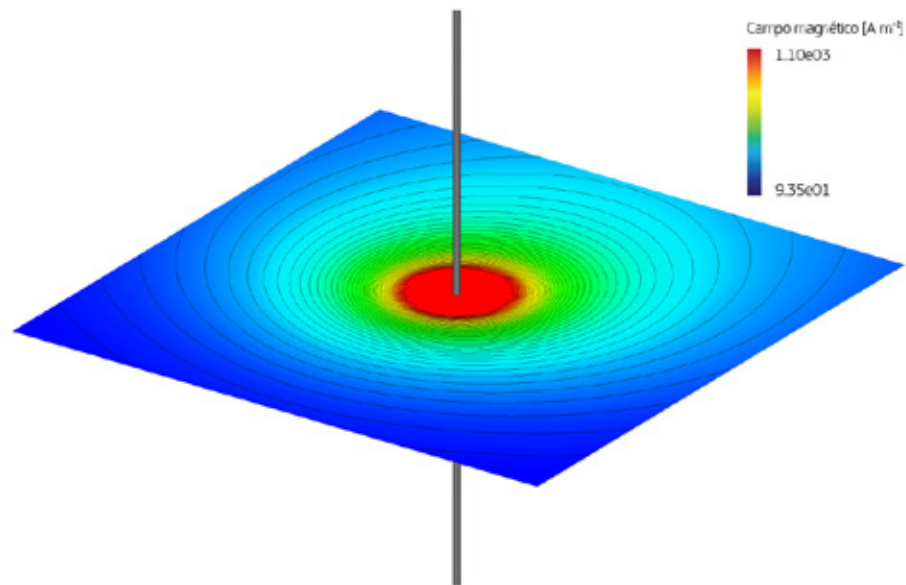
La densidad de flujo magnético suele representarse con la letra B y se cuantifica en teslas, cuya abreviatura es T .

Figura C.2. Flujo magnético (en rojo) que atraviesa una zona determinada (en amarillo) La densidad de flujo magnético representa la cantidad de flujo magnético por unidad de superficie y se expresa en teslas



Los VLE relativos a la exposición a campos de entre 0 y 1 Hz se especifican en términos de densidad de flujo magnético, al igual que los NA relativos a campos magnéticos entre 1 Hz y 10 MHz y los campos electromagnéticos de más de 100 kHz.

Figura C.3. Distribución espacial de la intensidad de campo magnético en torno a un cable de 50 Hz que transporta una corriente de 70 A



C.4. Intensidad de campo magnético (H)

Al igual que la densidad de flujo magnético, la intensidad de campo magnético es una medida de la magnitud de un campo magnético. La intensidad de campo magnético se representa con la letra H y se cuantifica en amperios por metro (Am^{-1}). Aunque la intensidad de campo magnético no se emplea en la Directiva CEM, sí se utiliza en las directrices de la ICNIRP y muchos medidores de campos magnéticos ofrecen resultados en esta magnitud.

En espacio libre, un valor de intensidad de campo magnético puede convertirse en el valor de densidad de flujo magnético equivalente aplicando la siguiente ecuación:

$$B [\mu\text{T}] \approx H \times 1,25 [\text{Am}^{-1}]$$

De este modo, si H tiene un valor de 800 Am^{-1}

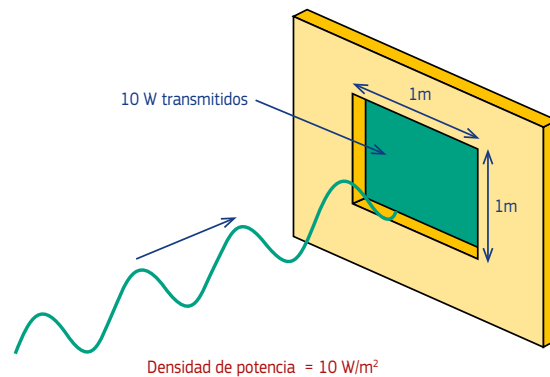
$$B \text{ equivaldrá aproximadamente a } 800 \times 1,25 \mu\text{T} = 1\,000 \mu\text{T} = 1 \text{ mT}$$

C.5. Densidad de potencia de radiofrecuencia (S)

A frecuencias muy altas (por encima de 6 GHz), en las que la profundidad de penetración en el cuerpo es baja, los VLE y los NA se presentan en términos de densidad de potencia y tienen el mismo valor numérico. La densidad de potencia se define como la potencia radiada, medida en vatios, que incide en una superficie, medida en metros cuadrados. Se representa con la letra S y se expresa en vatios por metro cuadrado (Wm^{-2}).

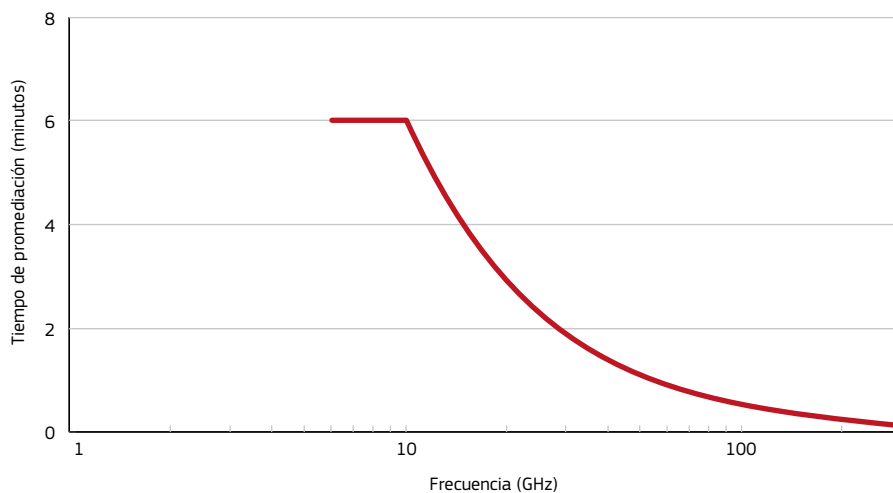
Al comparar una densidad de potencia con los VLE y NA correspondientes, puede promediarse sobre una superficie expuesta de 20 cm^2 , siempre que la densidad de potencia promediada para una superficie expuesta de 1 cm^2 no sea superior a 20 veces el VLE o el NA (es decir, $1\,000 \text{ Wm}^{-2}$).

Figura C.4. La densidad de potencia es la potencia radiada por unidad de superficie



La densidad de potencia también puede promediarse a lo largo de un período que depende de la frecuencia de la radiación. La fórmula relativa a este período se indica en las notas A.3-1 y B.1-4 del anexo III de la Directiva CEM y se representa gráficamente en la figura C.5.

Figura C.5. Gráfico que ilustra el modo en que el tiempo de promediación de la densidad de potencia depende de la frecuencia



C.6. Tasa de absorción específica de energía (SAR)

La tasa de absorción específica de energía (SAR) es un medio de cuantificar el ritmo al que una unidad de masa de un tejido del cuerpo absorbe la energía de la radiación electromagnética. La tasa de absorción específica de energía se relaciona con los efectos térmicos de los CEM.

La tasa de absorción específica de energía se cuantifica en vatios por kilogramo, cuya abreviatura es Wkg^{-1} .

La tasa de absorción específica de energía es útil para calcular los incrementos de la temperatura interior del cuerpo que se derivan de la exposición de todo el cuerpo. En esta situación la SAR se promedia para la masa del cuerpo del trabajador. La posibilidad de calentamiento de tejidos y, por ende, de efectos adversos en la salud aumenta conforme se

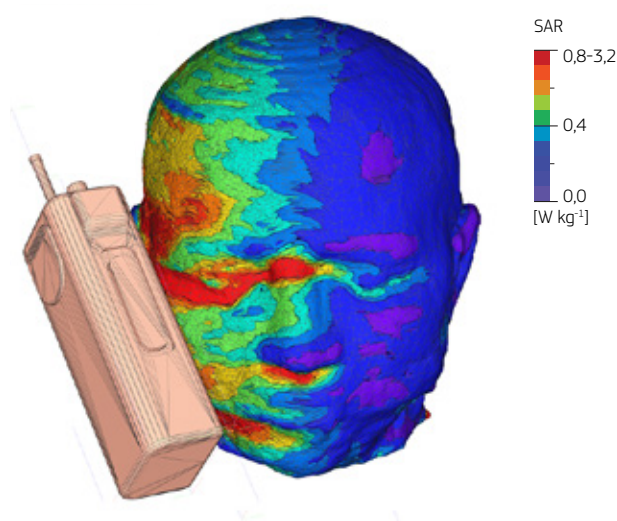
eleva la SAR. La SAR promediada para todo el cuerpo de un trabajador tiende a alcanzar su valor máximo a la frecuencia resonante de dicho cuerpo. La frecuencia resonante depende del tamaño y de la forma del cuerpo humano, así como de su orientación con respecto al campo electromagnético incidente. Para un trabajador de estatura y masa corporal medias, la resonancia se dará a aproximadamente 65 MHz, cuando aquel está aislado de la masa eléctrica y el campo incidente está polarizado verticalmente.

La SAR localizada es aplicable cuando la absorción del campo electromagnético incidente se produce en una pequeña zona del cuerpo, por ejemplo en la cabeza al exponerse a un terminal TETRA (figura C.6). La SAR localizada se promedia para 10 g de masa de tejido contigua o conectada en el cuerpo. La SAR en 10 g de masa contigua es una representación más exacta de la absorción de energía localizada y una mejor medida de la distribución de la SAR por el cuerpo.

Cuando los tejidos del cuerpo absorben energía de un campo radiado, les lleva tiempo alcanzar el equilibrio térmico. Por este motivo, tanto la SAR referida a todo el cuerpo como la relativa a zonas localizadas se promedian a lo largo de un período de tiempo (de seis minutos).

Los VLE relativos a la salud en el caso de la exposición a campos electromagnéticos de 100 kHz a 6 GHz se especifican en términos de SAR referida a todo el cuerpo y localizada.

Figura C.6. Distribución de la tasa de absorción específica de energía (SAR) en la cabeza a raíz de una exposición a un terminal TETRA (sistema europeo de radiocomunicaciones de radiotelefonía de grupo cerrado) de 380 MHz



C.7. Absorción específica de energía (SA)

La absorción específica de energía (SA) se define como la energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico y se expresa en julios por kilogramo (Jkg^{-1}). En la Directiva CEM se utiliza para establecer límites para los efectos de la radiación de microondas pulsátil.

Los VLE relacionados con efectos sensoriales por la exposición a campos electromagnéticos de entre 300 MHz y 6 GHz se presentan en la Directiva en los términos de la SA localizada promediada para 10 g de tejido.

C.8. Corriente de contacto (I_c)

El contacto con objetos conductores pasivos en campos electromagnéticos puede generar corrientes dentro del cuerpo que a su vez podrán producir choques y quemaduras o un calentamiento localizado. Se han fijado niveles de actuación con el fin de limitar este efecto. Las corrientes de contacto se representan con las letras I_c y se expresan en miliamperios (mA).

C.9. Corriente de extremidades (I_L)

La corriente inducida en las extremidades es la corriente eléctrica que descarga en tierra una persona afectada por un campo eléctrico que no toca un objeto conductor. Puede medirse con un medidor de bobina de tipo pinza colocado alrededor de la extremidad (figura C.7) o bien puede medirse la corriente que circule hacia tierra. Se representa con las letras I_L y se expresa en miliamperios (mA).

Figura C.7. Medidor de corriente de pinza empleado para medir la corriente de extremidades al utilizarse un soldador dieléctrico de 27 MHz



APÉNDICE D. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Este apéndice ofrece a los empresarios una visión general del proceso de evaluación de la exposición en el lugar de trabajo en relación con la Directiva CEM, incluidas ciertas consideraciones referidas a las exposiciones a frecuencias múltiples y no uniformes. No se trata sin embargo de definir unos protocolos de medición detallados para el estudio de equipos concretos o procesos en el lugar de trabajo. En el futuro, el Cenelec y otros organismos de normalización elaborarán normas técnicas al respecto.

Los CEM son agentes físicos complejos y variables en el tiempo y el espacio. Dependiendo de la situación específica del lugar de trabajo, en la exposición puede predominar el campo eléctrico o el campo magnético de la onda. La onda puede oscilar a una frecuencia o consistir en muchas frecuencias con oscilaciones o pulsos irregulares. La frecuencia y la amplitud también pueden cambiar con el tiempo durante el ciclo de funcionamiento.

En determinadas situaciones industriales, será necesario efectuar mediciones para compararlas con los niveles de actuación (NA) de la Directiva CEM y utilizar técnicas informatizadas en una serie de situaciones para evaluar la exposición referida a los valores límite de exposición (VLE) de la Directiva. En general, cuanto más sofisticadas sean las metodologías de evaluación, mayor inversión de tiempo y costes precisarán, aunque también ofrecerán unos cálculos más precisos de la exposición, lo que podrá reducir la divergencia con respecto a los valores que hay que cumplir.

Sea cual fuere la situación, la evaluación tendrá que tener en cuenta la hipótesis de exposición más desfavorable para determinar si el lugar de trabajo cumple la Directiva CEM o no.

D.1. Evaluación de la exposición: principios generales

Las figuras D.1 (efectos no térmicos) y D.2 (efectos térmicos), junto a las secciones D.1.1 a D.1.3, ilustran una posible metodología de evaluación del cumplimiento que incluye tres etapas principales. Es preciso adoptar planteamientos distintos en relación con los CEM de baja frecuencia y de alta frecuencia para tener en cuenta los diversos modos en que los campos afectan a las personas.

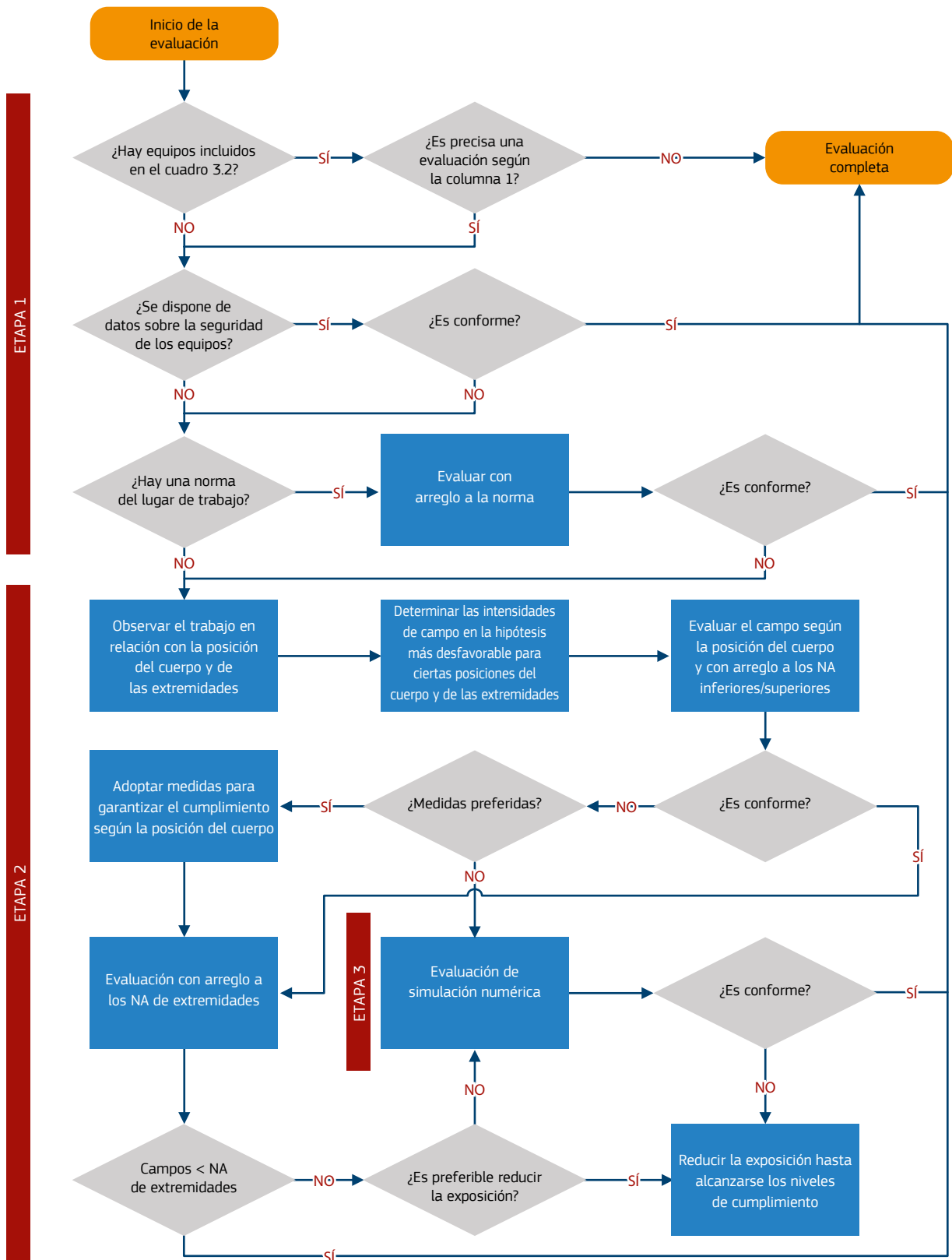
D.1.1. Etapa 1: evaluación inicial

Para demostrar el cumplimiento de la Directiva CEM, los empresarios están facultados para hacer uso de datos de los fabricantes o bases de datos de evaluaciones genéricas si se dispone de tal información. En general, esto debe permitir que los empresarios lleven a cabo las evaluaciones internamente, lo que reduce al mínimo la necesidad de recurrir a fuentes de asistencia especializadas, tales como organismos de seguridad, asesorías y centros de investigación.

La primera etapa consiste en identificar y enumerar todos los equipos, situaciones y actividades en el lugar de trabajo que puedan generar CEM. Posteriormente, se considerará cuál de estos cumple la Directiva CEM y cuál precisará de una evaluación más detallada (etapa 2 y/o etapa 3). Para ello, puede procederse a efectuar una comparación con el cuadro del capítulo 3.

La mayoría de equipos, actividades y situaciones no precisarán de una evaluación de las etapas 2 o 3, ya que bien no habrá campos o bien tales campos serán de muy baja intensidad.

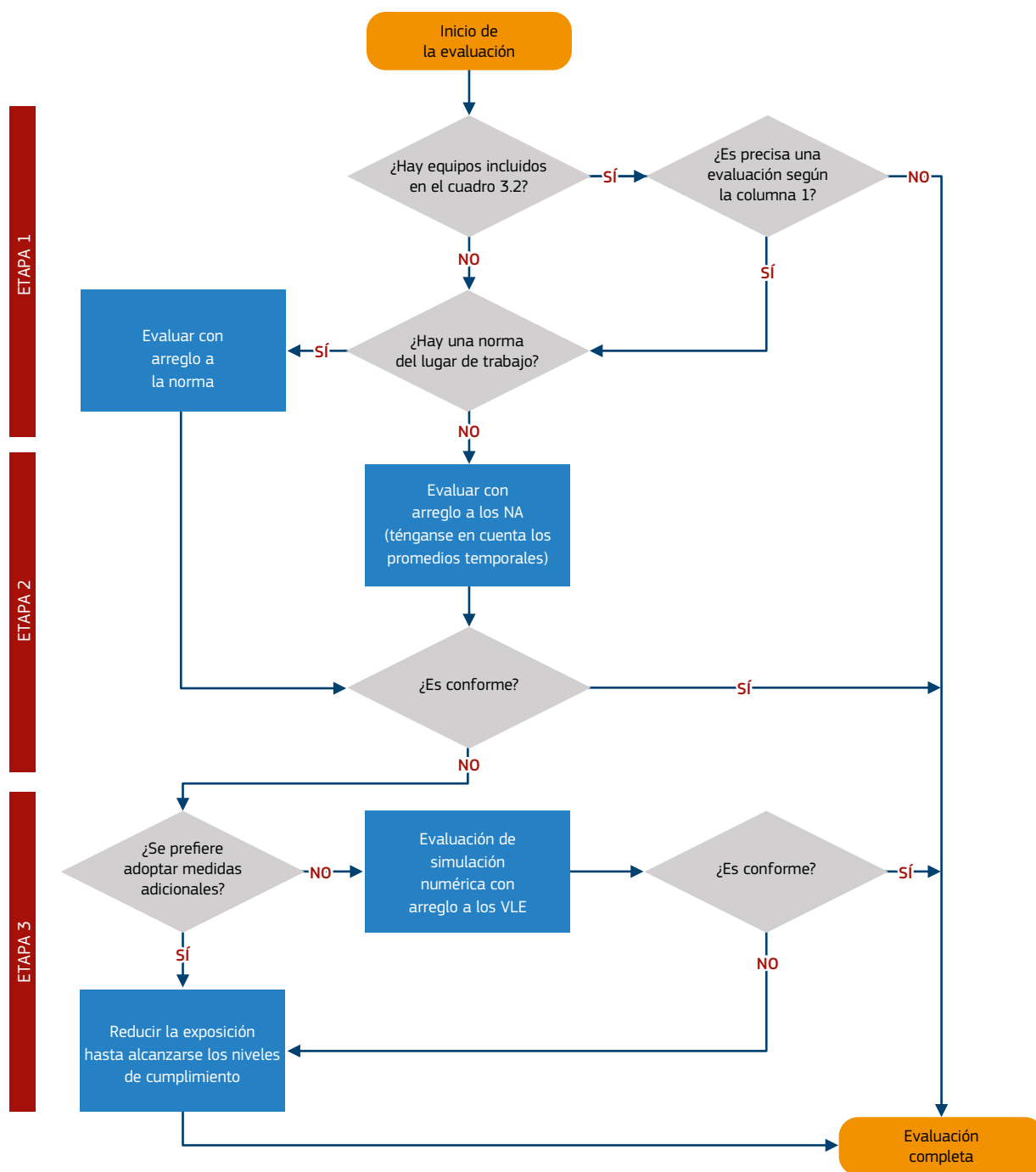
Figura D.1. Diagrama de flujo de las diversas etapas de una evaluación de CEM en el lugar de trabajo referida a efectos no térmicos



Nota: El diagrama de flujo se refiere a los NA y VLE relativos a efectos no térmicos, según se definen en el anexo II de la Directiva CEM.

Es preciso efectuar evaluaciones aparte referidas a los campos eléctricos y a los magnéticos.

Figura D.2. Diagrama de flujo de las diversas etapas de una evaluación de CEM en el lugar de trabajo referida a efectos térmicos



Nota: El diagrama de flujo se refiere a los efectos térmicos, según se definen en el anexo III de la Directiva CEM. Es preciso efectuar evaluaciones aparte referidas a los campos eléctricos y a los magnéticos.

Los fabricantes de maquinaria están sujetos al cumplimiento de obligaciones específicas, con arreglo a la Directiva relativa a las máquinas (véase el apéndice G), de suministro de información sobre los campos potencialmente peligrosos generados por sus equipos. Sin embargo, los fabricantes de equipos no están obligados a demostrar el cumplimiento de la Directiva CEM. No obstante, muchos de ellos reconocerán la ventaja comercial que entraña ofrecer a sus clientes la información que les permita demostrar el cumplimiento de la Directiva CEM.

En el futuro, es probable que se elaboren normas al objeto de demostrar el cumplimiento de la Directiva CEM. Aunque se tratará de normas informativas, en lugar de obligatorias, aquellas constituirán la base de la información que faciliten los fabricantes. La información facilitada por el fabricante se incluirá, normalmente, en los manuales suministrados junto a los equipos. De no ser así, podría ser necesario contactar al fabricante o distribuidor del equipo para solicitarle cualquier información disponible.

Los equipos que se consideren conformes en la etapa 1 tendrán que haberse instalado, utilizado y mantenido con arreglo a las instrucciones del fabricante. También debe tenerse en cuenta si es probable que la situación de exposición sea distinta durante el mantenimiento, la revisión o la reparación, en cuyo caso podría ser necesaria una evaluación de la etapa 2, más detallada.

Los lugares de trabajo que cumplan los requisitos de la etapa 1 no precisan de evaluaciones adicionales, aparte de documentar las conclusiones como parte de la evaluación de riesgos general. Si no puede demostrarse que el lugar de trabajo cumple los requisitos de la etapa 1, será necesario una evaluación de la etapa 2 y, posiblemente, de la etapa 3.

D.1.2. Etapa 2: evaluación con arreglo a los niveles de actuación

Ciertos tipos de equipos, actividades y situaciones, como los indicados mediante un «Sí» en la columna 1 del cuadro 3.2, precisarán de una evaluación adicional más detallada. Para ello puede hacerse uso de información disponible a través de los fabricantes o de otras fuentes. No obstante, en caso de que esta información no esté fácilmente disponible, suele ser necesario investigar el cumplimiento mediante la aplicación de técnicas de medición o informáticas. En general, los planteamientos basados en mediciones se emplean para evaluar el cumplimiento de los NA, mientras que las técnicas de modelado numérico más complejas son necesarias para evaluar el cumplimiento de los VLE.

D.1.2.1. Fase preparatoria

En la preparación de la evaluación de la etapa 2, hay que considerar en primer lugar qué se sabe del equipo, la actividad o la situación. Se deben registrar los detalles relativos al modo en que se lleva a cabo el trabajo y la información facilitada por el fabricante o distribuidor, si se dispone de ella.

La clave para determinar el planteamiento de evaluación correcto consiste en comprender claramente cómo se lleva a cabo el trabajo y las características de los equipos que generan campos. Ello suele incluir información sobre la frecuencia, tensión, potencia y ciclo de servicio.

- Examine la guía del usuario elaborada por el fabricante y las especificaciones técnicas facilitadas junto al equipo para familiarizarse con este y con el modo en que debe utilizarse.
- Considere cómo se lleva a cabo el trabajo y la posición del operario y de otros trabajadores en el lugar de trabajo. Considere asimismo las posiciones de los trabajadores durante los trabajos de mantenimiento y reparación, que pueden precisar de una evaluación distinta.
- Considere quién estará presente en la zona de trabajo; ¿ha comunicado algún trabajador una situación de embarazo o que tiene implantes médicos o que lleva en el cuerpo dispositivos médicos?

D.1.2.2. Fase de medición exploratoria

En la mayoría de las situaciones, será necesario efectuar mediciones exploratorias o preliminares en el lugar de trabajo para investigar la naturaleza del campo que vaya a evaluarse. Estas mediciones se llevarán a cabo al inicio del estudio y ayudarán a determinar los tipos de mediciones y de instrumentos necesarios para evaluar adecuadamente los campos. En el cuadro D.1 se facilitan algunos ejemplos de los factores que hay que tener en cuenta durante la fase exploratoria.

Cuadro D.1. Consideraciones relativas a la fase de medición exploratoria correspondiente a la etapa 2

Atributo del CEM	Ejemplo de consideraciones	Repercusiones en la evaluación
Magnitud física de interés	¿Se trata de un campo magnético, eléctrico o electromagnético?	Determinar el tipo de instrumento necesario para efectuar las mediciones
Frecuencia y amplitud	¿Varía el campo en forma de onda continua a una sola frecuencia o se trata de una forma de onda compleja que integra varias frecuencias?	Determinar el tipo de instrumento necesario para efectuar las mediciones. Las formas de ondas sinusoidales simples a una frecuencia concreta pueden evaluarse mediante el uso de instrumentos de banda ancha sencillos y los resultados pueden compararse directamente con los NA. Las formas de onda complejas precisan de la aplicación de técnicas espectrales sofisticadas para identificar los diversos componentes de la frecuencia y efectuar análisis complejos como RMS, métodos de detección de cresta o promedios ponderados para su comparación con los NA (véase la sección D.3).
Características espaciales	¿Varía el campo en intensidad dentro de la ubicación de interés de modo que la exposición pueda ser no uniforme?	Considerar el tamaño de la sonda y la ubicación y la cantidad de las mediciones. Tienen que efectuarse mediciones al objeto de captar las situaciones de exposición más desfavorables (véase la sección D.2).
Características temporales	¿Varía la frecuencia o la intensidad de campo durante el ciclo de servicio?	Determinar el instrumental necesario, el momento en que realizar las mediciones y su duración. Podría disponerse de medidores de registro, en cuyo caso hay que tener en cuenta la frecuencia de muestreo y el período de integración de una medición. Las mediciones tienen que efectuarse al objeto de captar las situaciones de exposición más desfavorables. La dificultad consiste en registrar el campo durante un período lo bastante prolongado y con una frecuencia de muestreo suficiente para captar el valor de campo máximo.

D.1.2.3. Magnitud física de interés

Al igual que sucede en el caso de las bajas frecuencias, es necesario evaluar por separado los campos eléctricos y los magnéticos. Numerosos tipos de procesos industriales hacen uso de equipos de intensidad eléctrica elevada que generan campos magnéticos. Los campos eléctricos intensos suelen ser menos habituales en el lugar de trabajo, dado que hay relativamente pocas aplicaciones que utilicen alta tensión o conductores abiertos (sin apantallamiento). Es mucho más complicado ofrecer un apantallamiento frente a campos magnéticos.

Por ello, es importante determinar si la exposición se da en el campo lejano, en una ubicación distante de la fuente, o en el campo próximo. El límite entre el campo lejano y

el próximo viene dado por la longitud de onda del campo y por el tamaño de la fuente. En el campo lejano existe una relación simple entre los campos eléctrico y magnético que viene determinada por la impedancia de la onda, de modo que es posible evaluar bien el campo eléctrico o bien el magnético para determinar la exposición global.

La relación entre los campos magnético y eléctrico en la zona del campo próximo, cerca de la fuente, es mucho menos fácil de predecir, ya que los campos pueden variar considerablemente en distancias muy cortas, hasta el punto de que tienen que evaluarse por separado. Las mediciones en el campo próximo suelen ser complicadas de efectuar, ya que los niveles de campo pueden variar en distancias muy cortas y el propio sensor puede acoplarse al campo y afectar así al resultado de la medición. En situaciones industriales que entrañen procesos de transmisión de energía y de calentamiento, el tamaño de la fuente y la frecuencia de la señal dictan que los campos eléctrico y magnético se evalúen por separado.

Podría no resultar posible efectuar mediciones adecuadas en el campo próximo, en cuyo caso se plantearía como alternativa una evaluación de etapa 3, que se basa en el modelado numérico.

D.1.2.4. Variación espacial

Es importante, en una fase temprana de la investigación, determinar cómo se distribuye el campo en relación con la posición del trabajador y cómo varía dentro del puesto de trabajo. La evaluación tiene que tener en cuenta dónde se da la máxima intensidad de campo con respecto a la posición del trabajador y que, en muchas situaciones, el campo perderá intensidad rápidamente al alejarse de su fuente.

Si el campo varía de manera considerable en distancias muy cortas, habrá de tenerse en cuenta el tamaño de la sonda, ya que si es grande podría dar lecturas incorrectas en estas situaciones. Asimismo, los niveles de actuación relativos a la exposición de las extremidades pueden ser más adecuados en tales circunstancias, dependiendo de la parte del cuerpo expuesta, ya que son menos restrictivos que otros niveles de actuación.

Los métodos de determinación de promedios espaciales y de demostración del cumplimiento en situaciones de exposición no uniforme se tratan en la sección D.2. del presente apéndice.

D.1.2.5. Caracterización de la forma de onda

Múltiples CEM presentes en el lugar de trabajo varían en forma de una onda continua de la misma frecuencia, lo que permite recurrir a una evaluación relativamente sencilla que requiere instrumentos de banda ancha bastante simples. Determinados tipos de equipos industriales generan formas de onda compuestas de una serie de frecuencias y, en tales situaciones, es necesario utilizar instrumentos sofisticados, tales como un analizador de espectro o instrumentos de captación de ondas, para muestrear la señal.

Las evaluaciones que incluyen múltiples frecuencias y formas de onda complejas se tratan pormenorizadamente en la sección D.3 del presente apéndice.

D.1.2.6. Variación temporal

Es importante determinar el modo en que la frecuencia y/o la intensidad (amplitud) del campo varían en el tiempo. En ciertas situaciones, el campo puede variar durante el ciclo de servicio y, en tal caso, la evaluación tendrá que contemplar la variación de la intensidad y la frecuencia del campo e identificar el momento en que el campo alcanza sus valores máximos.

Los cambios temporales pueden ser deliberados, por ejemplo en el caso en que se modulan las señales para transmitir información en sistemas de telecomunicaciones, o accidentales, por ejemplo en los casos de las señales armónicas producidas durante los procesos de calentamiento por inducción o de la rectificación de la CA o el cambio rápido de corriente para controlar el suministro de potencia a ciertos tipos de equipos industriales. Es importante identificar las señales armónicas cuando estas se producen, ya que los NA y los VLE varían con la frecuencia. El tratamiento que debe darse a las exposiciones a múltiples frecuencias en la evaluación de la exposición se recoge en la sección D.3.

Numerosos instrumentos modernos tienen capacidad de registro, de modo que el campo puede registrarse a unos intervalos de muestreo predeterminados durante períodos de hasta varias horas de duración. La frecuencia de muestreo se elige sobre la base de la velocidad de variación en el tiempo de los campos. Si el muestreo es demasiado lento en relación con la velocidad de variación del campo, podría dejar de registrarse el nivel máximo, lo que supondría una subestimación de la exposición. El período de integración del instrumento, es decir, el tiempo que precisa el medidor para procesar y registrar la señal, también ha de considerarse atentamente, ya que podría producirse una subestimación o una sobrestimación si el campo cambia rápidamente durante dicho período de integración. La mayoría de los instrumentos modernos necesita un período de integración de al menos un segundo, de modo que, si el campo cambia a una velocidad superior, será recomendable captar la cresta de la señal o la forma de onda íntegra.

D.1.2.7. Campos magnéticos estáticos

La Directiva CEM incluye VLE relativos a campos magnéticos estáticos de 0 a 1 Hz. El movimiento en campos magnéticos estáticos genera campos eléctricos inducidos en el cuerpo similares a los que producen los campos variables en el tiempo de baja frecuencia. La evaluación de los CEM necesaria en esta situación se detalla en la sección D.4.

D.1.2.8. Fase de estudio principal

Aspectos de seguridad de la realización de mediciones

Aparte de las consideraciones de seguridad normales en un entorno de trabajo, debe procurarse que la persona que efectúe las mediciones no se vea expuesta a CEM por encima de los NA o los VLE ni se exponga a riesgos derivados de efectos indirectos. Es una buena práctica el iniciar las mediciones a cierta distancia de la fuente de los campos. Ello asegurará que el encargado de las mediciones no se vea expuesto a campos que superen los NA o los VLE y protegerá el instrumento frente a daños ocasionados por la presencia de campos intensos que pueden encontrarse cerca de una fuente potente.

Debe obrarse con especial cautela en los campos magnéticos estáticos, a fin de evitar el riesgo de proyección, y en los campos eléctricos intensos, al objeto de evitar un exceso de microchoques y de corrientes de contacto.

Debe efectuarse previamente una evaluación de riesgos adecuada y adoptar las medidas de protección o prevención procedentes. Estas medidas podrán ser, predominantemente, de índole organizativa.

Planteamiento del estudio

Debe considerarse cuidadosamente la determinación de la ubicación, el momento de la realización y la duración de las mediciones. Para ello, lo normal será comenzar hablando con los trabajadores para averiguar qué tareas llevan a cabo y pasar un tiempo observándolos mientras trabajan para identificar las posiciones del cuerpo y las extremidades apropiadas para realizar las mediciones. Las evaluaciones deben tener en cuenta la gama de actividades que suelen llevarse a cabo, lo que incluye el funcionamiento normal, la limpieza, la eliminación de obstrucciones y el mantenimiento, la revisión y la reparación, si se llevan a cabo en el lugar de trabajo.

El método más común de realizar un estudio tal consiste en efectuar mediciones puntuales en ubicaciones definidas del lugar de trabajo o en ubicaciones específicas en torno a las fuentes de CEM. Estas deben reflejar las zonas que ocupan los trabajadores mientras desempeñan sus funciones, según se ha indicado anteriormente. Sin embargo, cabe señalar que los NA especificados en la Directiva son valores que no contemplan la presencia del cuerpo, de manera que el trabajador debe estar ausente durante la medición real (véase más adelante). Para tener en cuenta cualquier posible variación del campo a lo largo del tiempo, se pueden configurar medidores registradores de modo que registren el campo en diversas ubicaciones, mientras se efectúan las mediciones puntuales.

Constituye una buena práctica el repetir las mediciones en la misma ubicación a intervalos diversos durante la evaluación, de modo que se garantice que las mediciones son estables y que los medidores están funcionando adecuadamente.

Las mediciones de campos eléctricos son más difíciles de efectuar que las relativas a los campos magnéticos, dado que los primeros se alteran fácilmente por la presencia de objetos, incluido el cuerpo humano. La Directiva CEM define los NA en ausencia de perturbaciones, de manera que hay que procurar mantener los cuerpos de los trabajadores o de los encargados de la medición bien alejados de la sonda de medición (y esta, a su vez, alejada de objetos metálicos) al proceder a la realización de tales mediciones.

Instrumentos

Para que la evaluación sea válida es importante emplear un instrumental adecuado y ello dependerá de la naturaleza del CEM que se evalúe. Deben tenerse en cuenta las especificaciones técnicas del instrumento para cerciorarse de que sea apto para la medición de la señal de interés. En ciertas situaciones, puede ser necesario medir campos tanto eléctricos como magnéticos. Si se tiene constancia de que la fuente funciona a frecuencias superiores a varias decenas de MHz y el operario está en el campo lejano, la intensidad de campo de los campos eléctrico y magnético podrá convertirse mutuamente sobre la base del valor de la impedancia del espacio libre [$Z^0 = 377$ ohmios (Ω)]. Otro requisito importante consiste en que los instrumentos se calibren con arreglo a normas trazables, al objeto de garantizar su correcto funcionamiento. El estudio se iniciará con el instrumento ajustado a su máximo intervalo de medición, con el fin de reducir al mínimo el riesgo de sobrecargarlo.

Los instrumentos con un sensor de un solo eje medirán únicamente un componente del campo, de modo que es importante que este tipo de sensor se use en tres orientaciones ortogonales en el lugar de medición, de manera que pueda calcularse el campo resultante. Los instrumentos más sofisticados tienen tres sensores ortogonales que pueden medir el campo resultante. También es importante considerar el tamaño de la sonda, ya que esta tiene que ser más pequeña que el volumen en que el campo varía. Se ofrece más información sobre los tamaños de sonda apropiados en la norma IEC617861.

Muchos instrumentos modernos pueden ajustarse para medir los valores máximos o los valores cuadráticos medios (RMS) para una comparación directa con los valores límite dados en la Directiva CEM. Los NA de la Directiva CEM suelen darse como valores RMS. No obstante, los dispositivos de medición RMS pueden no ser apropiados para medir los campos generados por equipos de soldadura por puntos o de identificación por radiofrecuencia (RFID) en los que la señal puede ser pulsátil y los cambios de los campos mucho más rápidos que el tiempo de promediación del instrumento. En las situaciones que conllevan señales complejas son preferibles las evaluaciones de exposición mediante la ponderación de picos (véase la sección D.3).

En el cuadro D.2 se resumen algunos de los principales factores que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar el instrumental adecuado.

Cuadro D.2. Factores que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar el instrumental adecuado

Característica del CEM que se va a evaluar	Requisitos de los instrumentos
Frecuencia	El instrumento ha de ser capaz de responder al intervalo íntegro de frecuencias de la señal que se va a evaluar.
Amplitud	El instrumento ha de presentar un intervalo dinámico lo bastante grande como para medir las intensidades de campo que es probable se den.
Características de modulación	El instrumento tiene que ser capaz de detectar distintos regímenes de modulación.
Variación temporal/ciclo de servicio	Se considerarán la frecuencia de muestreo y el tiempo de integración del instrumento, aparte de la duración del período de registro.
Variación espacial	La sonda tiene que ser más pequeña que el volumen dentro del que el campo varía.
Ubicación: Interior/exterior/ambas Peso/durabilidad del instrumento	Los estudios realizados donde no haya tomas de corriente exigirán una duración de la batería suficiente. ¿Es apto el instrumento para efectuar un estudio en exteriores?

Parámetros de registro

En el cuadro D.3 se ofrecen ejemplos de parámetros clave que deben registrarse en el marco de la evaluación del lugar de trabajo.

Si la etapa 2 de la evaluación indica que los campos ambientales son inferiores a los NA, el lugar de trabajo será conforme con la Directiva CEM y la evaluación podrá darse por concluida (figura D.1).

Si se pueden superar los VLE o los NA relativos a campos estáticos, el empresario tendrá que adoptar medidas de prevención o de protección adecuadas.

A bajas frecuencias, si se superan los NA inferiores, el empresario tendrá que llevar a cabo otra evaluación con arreglo a los NA superiores. Si las mediciones son inferiores a los NA superiores, el empresario podrá optar entre adoptar medidas de protección o prevención, incluida la formación de los trabajadores, o llevar a cabo una evaluación de etapa 3 para demostrar el cumplimiento de los VLE sensoriales.

Cuadro D.3. Ejemplo de parámetros que deben registrarse en una hoja de estudio

Parámetro	Observaciones
Fecha y hora del estudio	Referencia
Nombre de contacto/datos del lugar/estructura	Referencia
Lugar de trabajo evaluado	Detalles de los equipos presentes, incluido un resumen de las especificaciones de funcionamiento
Tarea del trabajador o actividad evaluada	Funcionamiento normal, mantenimiento o limpieza
Magnitud física de interés	Campo eléctrico, campo magnético o densidad de potencia
Detalles del instrumental de medición	Medidor de banda ancha o de banda estrecha, respuesta en frecuencia, intervalo dinámico, frecuencia de muestreo, fecha de calibrado e incertidumbre
Estrategia de medición	Picos/valor cuadrático medio (RMS) Resultante, x, y, z Medidas puntuales o extendidas Lugares de muestreo (inclúyase un diagrama o mapa si procede) Frecuencia de muestreo

Si los campos medidos superan los NA superiores, habrá de considerarse la extensión espacial del campo en relación con la parte del cuerpo del trabajador expuesta y, si procede, los campos comparados con los NA de extremidades. Si la exposición no está localizada o bien si la exposición localizada supera los NA de extremidades, el empresario tendrá dos opciones. Podrá adoptar medidas de protección y/o de prevención o bien llevar a cabo una evaluación de etapa 3 para determinar el cumplimiento de los VLE (véase la sección D.1.3).

A altas frecuencias, si los campos ambientales superan los NA, el empresario dispondrá, de nuevo, de la opción de adoptar medidas de protección y/o de prevención o de proceder a la realización de una evaluación de etapa 3.

Si se superan los NA relativos a la corriente de contacto, el empresario tendrá que adoptar medidas de protección o prevención adecuadas.

D.1.3. Etapa 3: evaluación con arreglo a los valores límite de exposición (VLE)

D.1.3.1. Introducción

La Directiva CEM define VLE destinados fundamentalmente a limitar los campos eléctricos inducidos y la tasa de absorción específica de energía (SAR) dentro del cuerpo. Tales magnitudes no son fácilmente mensurables y, por tanto, una evaluación de etapa 3 suele basarse en sofisticadas técnicas de modelado numérico para determinar el cumplimiento de los VLE, aunque se puede recurrir a ciertos métodos de medición.

Los NA ofrecen unas estimaciones conservadoras de los campos ambientales máximos a los que todo el cuerpo de un trabajador puede verse expuesto sin superar los VLE pertinentes. Si las mediciones indican que puede estar superándose un NA en relación con una situación de exposición concreta, podría ser necesario llevar a cabo una evaluación dosimétrica para determinar el cumplimiento de los VLE.

Pueden emplearse simulaciones numéricas para evaluar si los campos electromagnéticos generados por un aparato darán lugar a la superación de los VLE. Las simulaciones y la aplicación de la dosimetría informatizada ofrecen un vínculo entre los NA (campos electromagnéticos sin perturbaciones medidos externamente) y los VLE (magnitudes dosimétricas modeladas que representan la interacción entre el campo electromagnético y el cuerpo humano). Estas simulaciones se utilizan para traducir los valores del campo electromagnético, medidos en ausencia del cuerpo, a magnitudes dosimétricas dentro del cuerpo.

Las magnitudes dosimétricas incluidas en los VLE comprenden las intensidades de los campos eléctricos inducidos, la tasa de absorción específica de energía (SAR) y la densidad de potencia. Los efectos en la salud y, por ende, las magnitudes dosimétricas dependen de la frecuencia del campo incidente. A bajas frecuencias, la Directiva establece unos VLE basados en las intensidades de los campos eléctricos inducidos, mientras que a frecuencias mayores se utilizan la SAR y las densidades de potencia (véase el cuadro D.4).

Cuadro D.4. Efectos biológicos adversos potenciales, magnitudes de los VLE y de los NA

Frecuencia	Posible efecto biológico adverso	Magnitud dosimétrica de VLE (simulación numérica)	Magnitud de exposición de NA (medida normalmente)
1 Hz a 10 MHz	Efectos en el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP)	Campos eléctricos inducidos en tejidos estimulados en V/m	Intensidad de campo eléctrico, densidad de flujo magnético, corrientes inducidas y de contacto
100 kHz a 6 GHz	Calentamiento de tejidos	SAR en W/kg SA en J/kg	(Intensidad de campo eléctrico) ² (densidad de flujo magnético) ² , corrientes inducidas y de contacto
6 GHz a 300 GHz	Calentamiento superficial	Densidad de potencia en W/m ²	(Intensidad de campo eléctrico) ² (densidad de flujo magnético) ² y densidad de potencia

D.1.3.2. Interacciones de campo electromagnético con tejidos humanos

Campos de baja frecuencia

A bajas frecuencias, cabe considerar desacoplados los campos eléctricos y magnéticos (aproximación cuasiestática) y, por lo tanto, pueden tratarse por separado.

Campo eléctrico externo

El cuerpo humano perturba de manera significativa un campo eléctrico de baja frecuencia incidente. En la mayoría de situaciones de exposición, el campo eléctrico externo se orienta verticalmente con respecto a la tierra. El cuerpo humano es un buen conductor a bajas frecuencias y los campos eléctricos internos inducidos dentro del cuerpo son inferiores en muchos órdenes de magnitud al campo externo aplicado.

La distribución de las cargas inducidas en la superficie del cuerpo a partir de la exposición a un campo eléctrico externo no es uniforme. El resultado es una orientación principalmente vertical de las corrientes internas inducidas en el cuerpo. Otro factor que ejerce una gran influencia en la magnitud y la distribución espacial de los campos eléctricos inducidos dentro del cuerpo es el contacto entre la persona y la tierra. Los campos eléctricos internos de mayor intensidad se inducen cuando el cuerpo está en contacto perfecto con tierra, apoyando los dos pies. Cuanto más aislado esté el cuerpo de la tierra, más débiles serán los campos eléctricos inducidos en los tejidos. Por ello, llevar un calzado de trabajo aislante puede, en ciertas circunstancias, ofrecer cierto nivel de protección frente a los campos de baja frecuencia.

Campo magnético externo

A diferencia de lo que sucede con los campos eléctricos aplicados, el cuerpo humano no perturba un campo magnético aplicado. El campo magnético en el tejido humano es el mismo que el campo magnético externo. Ello se debe a que la permeabilidad magnética de los tejidos es la misma que la del aire. Puede haber materiales magnéticos (magnetita, por ejemplo) presentes dentro de los tejidos, aunque en cantidades tan pequeñas que, con fines prácticos, cabe ignorarlos.

La principal interacción de un campo magnético externo con el cuerpo es el flujo de corriente asociado a la inducción de Faraday en tejidos humanos conductores. En tejidos heterogéneos compuestos de zonas de conductividad diversa, también circulan corrientes en los puntos de contacto entre tales zonas.

Campos de alta frecuencia

A altas frecuencias, el cuerpo humano puede considerarse una antena conductora imperfecta. Se inducen campos eléctricos y corrientes en los tejidos del cuerpo. Si el cuerpo se halla erguido con respecto al plano del suelo, las corrientes inducidas fluirán por el cuerpo en dirección vertical, atravesando los pies en dirección a la tierra. Los campos eléctricos y corrientes inducidos producirán efectos térmicos en los tejidos humanos, tanto localmente como por todo el cuerpo. La magnitud y la distribución espacial de estos campos eléctricos inducidos dependen en gran medida de la configuración de la exposición y de la frecuencia.

El cuerpo tiene una frecuencia resonante natural relacionada con su altura. Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia se absorben más eficazmente a frecuencias próximas a esta frecuencia de resonancia. A frecuencias inferiores a, aproximadamente, 1 MHz, el cuerpo humano absorbe muy poca energía de RF. La absorción aumenta significativamente a la frecuencia resonante de 60-80 MHz en caso de que el cuerpo humano esté aislado y de 30-40 MHz si está en contacto con tierra. Además, las partes del cuerpo también pueden ser resonantes. La cabeza de un adulto es resonante a una frecuencia de aproximadamente 400 MHz. Si el cuerpo adopta una postura sedente, las mitades superior e inferior podrán tener sus propias frecuencias resonantes. Por ello, la frecuencia a la que se absorbe la cantidad máxima de energía de RF depende del tamaño del cuerpo y de la postura. Por lo general, se produce un menor calentamiento por RF a medida que la frecuencia aumenta por encima de la región de resonancia. Sin embargo, el calentamiento a frecuencias superiores tiende a concentrarse en la superficie del cuerpo, ya que la profundidad de penetración del campo incidente disminuye.

D.1.3.3. Valores límite de exposición

Los VLE representan magnitudes dosimétricas dentro del cuerpo con el objeto de proteger frente a efectos sobre la salud adversos derivados de la exposición humana a campos electromagnéticos. Los VLE aplicados dependen de la frecuencia del campo objeto de investigación.

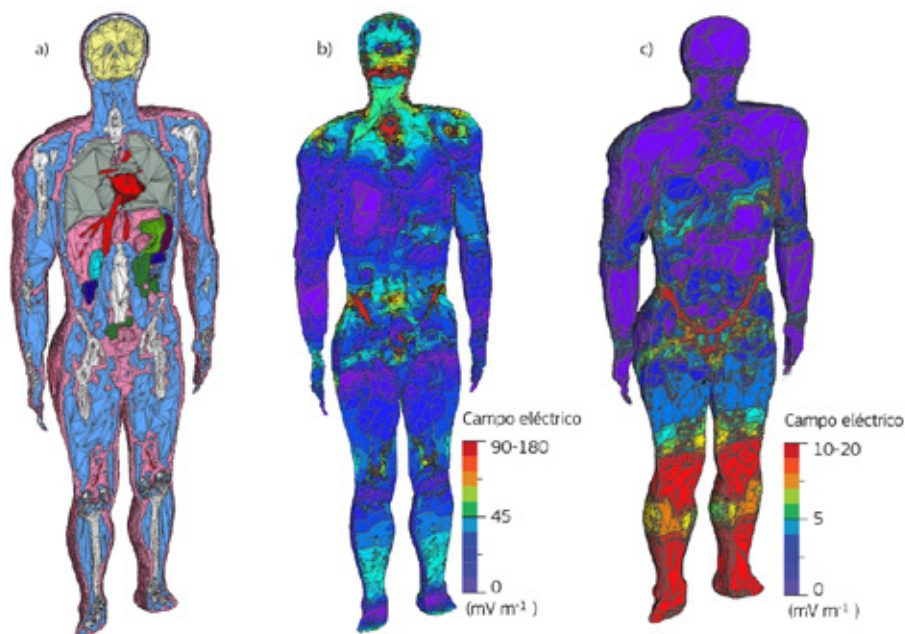
Baja frecuencia

A bajas frecuencias (1 Hz a 10 MHz), la magnitud dosimétrica principal corresponde al campo eléctrico interno inducido dentro del cuerpo humano. Ello se debe a que los umbrales relativos a la estimulación del tejido nervioso humano se definen con arreglo a la magnitud y la variación espacial de estos campos eléctricos internos. El campo eléctrico inducido se expresa en voltios por metro (Vm^{-1}).

En cuanto a la exposición a campos eléctricos de baja frecuencia, dentro del cuerpo se generan campos eléctricos internos que perturban de manera significativa el campo incidente. El campo eléctrico externo inducirá cargas no uniformes en la superficie del cuerpo, mientras que dentro del cuerpo se producirán campos eléctricos internos que podrán generar corrientes.

En caso de exposición a campos magnéticos de baja frecuencia, los campos eléctricos internos son generados por el campo magnético que induce un campo eléctrico y corrientes asociadas en el tejido humano. Las corrientes que circulan entre zonas del cuerpo de distinta conductividad fisular también generan campos. En la figura D.3 se ilustra cómo el cuerpo absorbe estos campos eléctricos inducidos derivados de la exposición a campos eléctricos y magnéticos externos de baja frecuencia.

Figura D.3. Exposición a bajas frecuencias: Vistas en corte del cuerpo humano que ilustran a) los órganos internos del cuerpo, b) los campos eléctricos internos generados por la exposición a un campo magnético externo de baja frecuencia y c) los campos eléctricos internos derivados de la exposición a un campo eléctrico externo de baja frecuencia

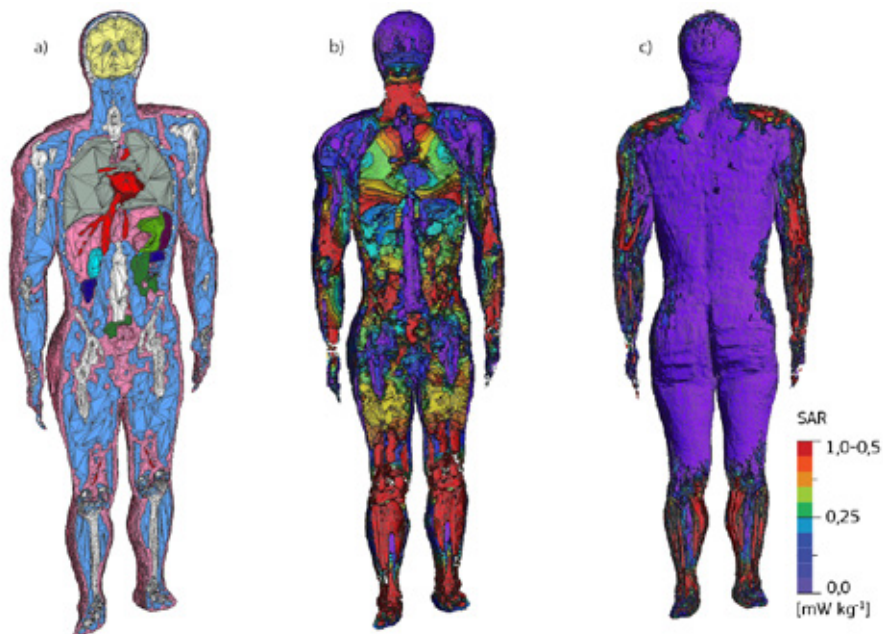


Alta frecuencia

A altas frecuencias (100 kHz a 300 GHz), la magnitud dosimétrica primaria de la absorción de un campo electromagnético es la tasa de absorción específica de energía (SAR). Ello se debe a que los efectos biológicos adversos predominantes derivados de la exposición a campos electromagnéticos a estas frecuencias los causan los incrementos de temperatura en los tejidos.

La SAR puede definirse como la potencia absorbida por unidad de masa. Se expresa en vatios por kilogramo (Wkg⁻¹). Se emplea como magnitud dosimétrica en la Directiva CEM, ya que está estrechamente vinculada al aumento de temperatura de los tejidos humanos. En la figura D.4. se ilustra cómo se distribuye la SAR por el cuerpo humano al verse este expuesto a un campo electromagnético de alta frecuencia.

Figura D.4. Exposición a altas frecuencias: Vistas en corte del cuerpo humano que ilustran a) los órganos internos del cuerpo, b) la SAR que produce en los tejidos la exposición a un campo electromagnético de 40 MHz y c) la SAR que produce en los tejidos la exposición a un campo electromagnético de 2 GHz



Las magnitudes dosimétricas internas (campos eléctricos y SAR) empleadas para definir los VLE no pueden evaluarse con exactitud mediante medición, ya que las intensidades de campo dentro del cuerpo humano no pueden medirse de manera no invasiva. Las magnitudes dosimétricas de los VLE se han medido en animales, aunque se dispone de datos limitados y el nivel de exactitud de tales mediciones es relativamente escaso. Por otra parte, no es posible extrapolar directamente al ser humano los resultados de estudios realizados en animales, habida cuenta de las diferencias fisiológicas entre especies en muchos ámbitos. Las simulaciones numéricas de la absorción electromagnética humana, y, por tanto, del cumplimiento de los VLE de la Directiva CEM, permiten un estudio directo de las magnitudes dosimétricas internas.

D.1.3.4. Evaluación del cumplimiento de los VLE

Para calcular las magnitudes dosimétricas en el cuerpo requeridas para la comparación con los VLE, son necesarios una representación del cuerpo humano, un método numérico capaz de modelar la interacción del campo electromagnético con los tejidos biológicos y una representación de la fuente del campo electromagnético.

Modelo humano

Cabe considerar al cuerpo humano como una antena receptora cuando se expone a campos electromagnéticos. Por ende, las propiedades anatómicas, geométricas y eléctricas del cuerpo son sumamente importantes al evaluar el cumplimiento de los VLE.

Históricamente se han utilizado estructuras homogéneas sencillas, como esferas, esferoides, cilindros, discos y cubos como sustitutos del cuerpo para la evaluación de las magnitudes dosimétricas internas. Para estas figuras homogéneas se emplea un único valor de conductividad y permitividad que representa un valor medio para todo el cuerpo y que no suele depender de la frecuencia. El uso de tales estructuras sencillas

facilita la simulación numérica de la exposición a los campos electromagnéticos. Sin embargo, tales procedimientos dan lugar a unos resultados imprecisos que sobrestiman de manera considerable la exposición real.

Figura D.5. Modelo humano: Ejemplo de un modelo masculino heterogéneo y anatómicamente realista. Se indican el esqueleto y los órganos internos (izquierda), la capa muscular (centro) y la capa cutánea (derecha)



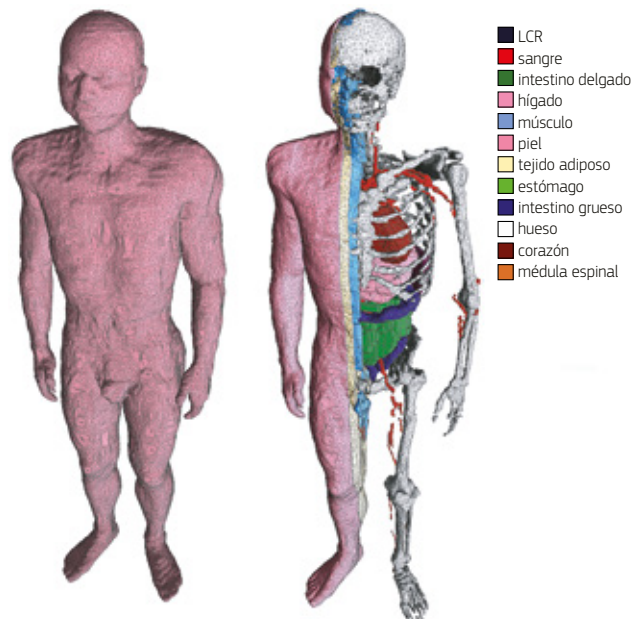
Se recomienda emplear modelos heterogéneos y anatómicamente realistas del cuerpo humano para la evaluación de la exposición a los campos electromagnéticos. En la actualidad, ciertos organismos han desarrollado diversos modelos heterogéneos del cuerpo humano (masculino, femenino, mujer embarazada, según la postura, etc.) con una anatomía realista y numerosos tejidos identificados. Debido a la inversión necesaria para elaborar dicho modelo, su uso llevará aparejado un coste. Además, existirán, inevitablemente, diferencias entre los distintos modelos disponibles que es probable den lugar a unos resultados ligeramente distintos.

Los modelos anatómicamente realistas suelen desarrollarse mediante la segmentación informatizada de los datos de resonancias magnéticas del cuerpo en distintos tipos de tejido. Se presta atención a que tales modelos sean anatómicamente realistas. En las figuras D.5 y D.6 se ofrecen ejemplos de modelos de un varón adulto heterogéneo. Es habitual que tales modelos consten de más de 30 tejidos y órganos distintos. El modelo puede basarse en vóxeles (píxeles volumétricos) o en superficies.

Al emplearse en simulaciones que empleen un método numérico, como el método de cálculo de diferencias finitas en el dominio temporal, el modelo del cuerpo humano suele representarse mediante celdas cúbicas (vóxeles) de entre 1 y 2 mm. A los vóxeles se les asigna un valor de conductividad y permitividad basado en valores medidos para diversos órganos y tejidos.

Para calcular las magnitudes dosimétricas en los modelos humanos mostrados, tienen que especificarse las propiedades dieléctricas de los tejidos que forman esos modelos. Si se parte del supuesto de que los distintos tejidos son en su mayor parte homogéneos, las propiedades eléctricas podrán describirse mediante dos parámetros, a saber, la conductividad (σ) y la permitividad (ϵ). Estas propiedades pueden variar con la frecuencia en los tejidos biológicos. Por lo general, la conductividad de un tejido aumentará y la permitividad disminuirá al aumentar la frecuencia.

Figura D.6. Modelo humano: Vista en corte de un modelo humano heterogéneo que ilustra diversos tipos de tejidos seleccionados



Las propiedades dieléctricas difieren en gran medida en función del tejido de que se trate (véase <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/>). Los tejidos con una gran proporción de agua, por ejemplo, los líquidos corporales, muestran un nivel de dependencia de la frecuencia casi nulo a frecuencias inferiores a 100 kHz. La proporción de agua o líquido presente en un tejido humano es significativa para las propiedades dieléctricas exhibidas y el modo en que estas cambian con la frecuencia. Por ello, los tejidos que muestran un comportamiento similar al verse expuestos a campos electromagnéticos pueden agruparse con arreglo a su contenido de agua. Por ejemplo, la sangre y el líquido cefalorraquídeo tienen un elevado contenido de agua y pueden conducir las corrientes relativamente bien. Los pulmones, la piel y el tejido adiposo son conductores relativamente malos, mientras que el hígado, el bazo y los músculos presentan un grado de conductividad intermedio.

Métodos numéricos

Se han empleado diversos métodos numéricos para evaluar la absorción de campos electromagnéticos en modelos humanos heterogéneos y anatómicamente realistas. Los métodos numéricos aptos se ven limitados por las muy heterogéneas propiedades eléctricas del cuerpo humano y por la complejidad de las formas de los órganos externos e internos.

Entre los métodos empleados con éxito para la dosimetría de campos electromagnéticos de alta resolución se incluyen el método de cálculo de diferencias finitas (FD) en el ámbito de la frecuencia y en el dominio temporal (FDTD), el método de cálculo del elemento finito (FEM) y la técnica de la integración finita (FIT).

Estos métodos ofrecen una solución directa para las ecuaciones rotacionales diferenciales de Maxwell. Suelen dividir el espacio virtual en un entramado tridimensional de celdas o superficies a las que se asignan propiedades eléctricas discretas. En el caso de los métodos de cálculo de diferencia finita, el código informático reitera en el tiempo y el espacio los valores de campo evaluados en cada celda, hasta que se obtiene una convergencia de la solución.

Cada método entraña ventajas y limitaciones. Todos los métodos y ciertos códigos informáticos se han sometido a una exhaustiva verificación mediante comparación con soluciones analíticas y resultados experimentales, al objeto de asegurar que los resultados obtenidos mediante ellos son representativos de una gran variedad de situaciones de exposición electromagnética.

D.1.3.5. Promedio: Percentil 99 del campo eléctrico inducido, WBSAR y SAR localizada

Percentil 99 del campo eléctrico inducido

Al limitar los efectos adversos de los campos eléctricos *in situ* inducidos en el trabajador, es importante definir la zona para la que se promedia el campo eléctrico *in situ*. A modo de solución práctica, para satisfacer los requisitos de contar con una base biológica sólida y las limitaciones informáticas, se recomienda que el campo eléctrico *in situ* se determine como un promedio vectorial del campo eléctrico en una pequeña porción de tejido contiguo de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$.

A menudo, los métodos numéricos empleados para calcular los campos eléctricos inducidos en el cuerpo se sirven de un modelo humano discreto dividido en celdas o vóxeles. No obstante, si se utiliza un método que no emplee celdas, habrá de prepararse un algoritmo promediador adecuado que calcule el campo eléctrico para un volumen de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ dentro del código numérico. Para un tejido específico, el valor del percentil 99 del campo eléctrico es el valor pertinente que se comparará con el valor límite de exposición (ICNIRP, 2010).

SAR media para todo el cuerpo (WBSAR)

El VLE de WBSAR tiene por objeto proteger frente a los efectos de calentamiento de todo el cuerpo. Para calcular la SAR relativa a todo el cuerpo, se sumarán las tasas de absorción de todos los vóxeles del modelo humano y, a continuación, se dividirán por la masa del cuerpo.

SAR localizada

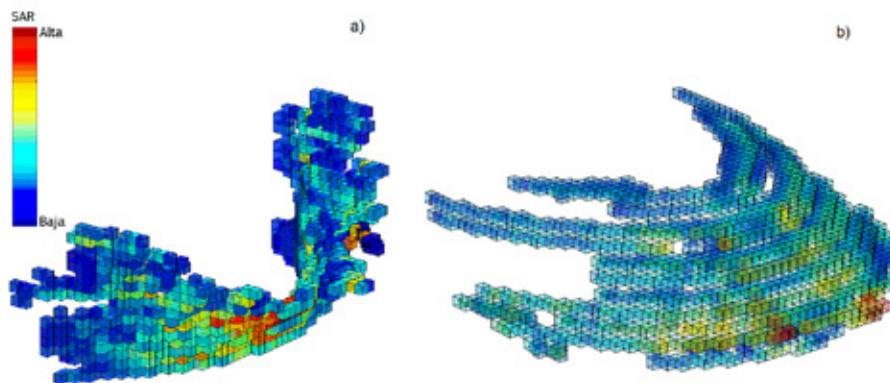
Los VLE de SAR localizada se especifican en la Directiva CEM con el fin de proteger frente al calentamiento localizado del cuerpo humano, sobre todo de la exposición a fuentes de campo de radiación electromagnética próximas.

Para el cálculo de la SAR localizada relativa a la exposición a campos electromagnéticos de entre 100 kHz y 6 GHz, la Directiva CEM establece que la masa de promediación empleada debe ser de una porción cualquiera de 10 g de tejido contiguo. Para el cálculo de la exposición debe emplearse el valor máximo de la SAR localizada en el cuerpo.

El siguiente podría ser un procedimiento para el cálculo de la SAR localizada para una porción de 10 g de tejido contiguo. Se selecciona una celda con la SAR máxima en una sección horizontal del modelo humano. A continuación, se efectúa una búsqueda en las seis celdas contiguas que tocan las caras de la original para identificar la que tiene la tasa de absorción más elevada. Una vez se ha completado el proceso, se suman las potencias y las masas. Se efectúa una búsqueda entre las celdas de superficie contigua para obtener una zona contigua de celdas cuya masa sea igual a 10 g y se calcula la SAR correspondiente a esta zona. Para una resolución de vóxeles correspondiente a 2 mm, se emplean aproximadamente 1 000 celdas (dependiendo de la densidad del tipo de tejido) en este proceso, ya que el volumen de cada celda es de $0,008 \text{ cm}^3$. Este proceso se repite para cada sección horizontal y, en último extremo, se elige el valor de SAR máximo de cualquier zona conectada de todo el modelo humano.

En la figura D.7 se muestran ejemplos de SAR localizada y promediada para una zona contigua de 10 g de tejido. Esta figura muestra el valor máximo de la SAR en zonas de tejido contiguo de 10 g calculado en un modelo humano expuesto a un campo electromagnético de onda plana de 100 MHz y 3,4 GHz.

Figura D.7. Regiones contiguas: SAR promediada para 10 g de tejido contiguo conectado en un modelo humano expuesto a un campo electromagnético de a) 100 MHz y b) 3,4 GHz. El mapa cromático varía entre el azul oscuro (SAR baja) y el rojo oscuro (SAR alta)



D.2. Demostración del cumplimiento en caso de exposición no uniforme

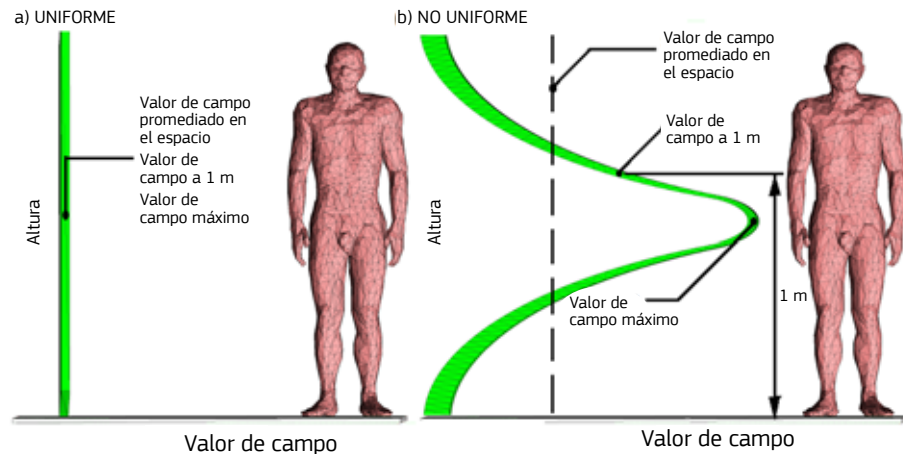
D.2.1. Introducción

La exposición a campos electromagnéticos puede describirse como uniforme o no uniforme. Un campo electromagnético uniforme se define, a altas frecuencias, como una onda difundida de tal modo que muestra la misma amplitud en todos los puntos del plano perpendicular a su dirección de propagación. El campo uniforme es una idealización que permite explicar la onda como si se tratara de una onda completa que se propaga en una única dirección. A bajas frecuencias, un campo uniforme es un campo que es igual en cualquier punto de un determinado volumen, por ejemplo un campo eléctrico entre dos placas paralelas infinitas.

La determinación del valor de campo para la evaluación del cumplimiento de los NA es trivial en el caso de un campo electromagnético uniforme, ya que el valor será el mismo a lo largo de una línea perpendicular a la dirección de propagación de la onda (figura D.8). En caso de que un campo sea uniforme de este modo, o relativamente uniforme (dentro de una variación del 20 %), será suficiente efectuar una medición del campo en un solo punto del espacio ocupado por un trabajador.

Los dispositivos que generan radiación electromagnética pueden crear condiciones de exposición no uniformes dentro del espacio correspondiente a la altura del cuerpo si se sitúan próximos a una persona o en un entorno en el que se da una variación del campo generado debido a la reflexión con la tierra o la dispersión derivada de la presencia de objetos cercanos.

Figura D.8. Ejemplos de exposición uniforme y no uniforme: Variación del campo con el aumento de la distancia con respecto a tierra de a) un campo uniforme y b) un dipolo típico. Se indican el valor de campo promediado en el espacio, el valor de campo máximo y el valor de campo a 1 m



La determinación de un valor de campo único para la comparación con los NA no es sencilla si el campo presenta variaciones significativas en la zona que ocupa el trabajador. En esta situación de exposición, puede usarse el valor de campo máximo en la posición del cuerpo del trabajador, aunque ello dará como resultado una evaluación conservadora. Ciertas organizaciones han recomendado hacer uso de un único valor de campo a una altura de 1 m. Sin embargo, este valor puede no ser representativo en muchos casos.

En tales situaciones no uniformes, tiene que definirse un método apropiado para obtener un único valor de campo. La Directiva establece que, en esos casos, puede utilizarse un promedio espacial del campo. Se recomiendan mediciones o cálculos promediados en el espacio, ya que ofrecen una indicación más representativa de la exposición en situaciones en las que el campo varía a lo largo de la altura del cuerpo humano.

D.2.2. Cuestiones relativas a la exposición no uniforme

La Directiva especifica NA en términos de un valor único para una frecuencia particular. La magnitud de estos NA se establece con el fin de garantizar el cumplimiento de los VLE pertinentes o determinar qué medidas de prevención o protección especificadas en el artículo 5 deben elegirse.

Sin embargo, si el campo no es uniforme dentro de la zona ocupada por el trabajador [como en la figura D.8, letra b)], la intensidad del campo eléctrico o la densidad de flujo magnético variarán en función de la posición en la que se evalúe el campo. Cabría preguntarse, pues, qué valor de campo único debería en tal caso compararse con los NA.

La Directiva recomienda, en estas situaciones de exposición, calcular el valor de campo máximo dentro del volumen en cuestión o efectuar un promedio espacial. En casos en que exista una fuente muy localizada próxima al cuerpo, el cumplimiento de los VLE se determinará dosimétricamente.

La Directiva establece lo siguiente, en las notas B1-3 y B2-3 del anexo II, en relación con los efectos no térmicos:

«Los NA representan los valores máximos calculados o medidos en la posición del cuerpo del trabajador. Esto entraña una evaluación moderada de la exposición y un cumplimiento automático de los valores límite de exposición en todas las condiciones de exposición no uniformes. Para simplificar la evaluación del cumplimiento de los

valores límite de exposición, llevada a cabo de conformidad con el artículo 4, en condiciones no uniformes particulares, en las guías prácticas mencionadas en el artículo 14 se establecerán criterios para la obtención del promedio espacial de los valores de los campos medidos basados en una dosimetría sólidamente establecida. En el caso de una fuente muy localizada situada a una distancia de algunos centímetros del cuerpo, el campo eléctrico inducido se determinará dosimétricamente caso por caso».

La Directiva establece, en la nota B.1-3 del anexo III, en relación con los efectos no térmicos:

«Los NA (E) y los NA (B) representan los valores máximos calculados o medidos en la posición del cuerpo del trabajador. Esto entraña una evaluación moderada de la exposición y un cumplimiento automático de los valores límite de exposición en todas las condiciones de exposición no uniformes. Para simplificar la evaluación del cumplimiento de los valores límite de exposición, llevada a cabo de conformidad con el artículo 4, en condiciones no uniformes particulares, en las guías prácticas mencionadas en el artículo 14 se establecerán criterios para la obtención del promedio espacial de los valores de los campos medidos basados en una dosimetría sólidamente establecida. En el caso de una fuente muy localizada situada a una distancia de unos pocos centímetros del cuerpo, el cumplimiento de los valores límite de exposición se determinará dosimétricamente caso por caso».

D.2.2.1. Valor de campo máximo

Se trata del método más sencillo de evaluar el cumplimiento de los límites presentados en la Directiva. Sin embargo, también es el método que presenta la estimación más conservadora de la exposición de un trabajador a un campo. No se procede al cálculo de un promedio espacial. La medición o el cálculo del campo no perturbado, es decir, sin la presencia del trabajador, se lleva a cabo en un punto dentro de una zona ocupada por el trabajador en la que la intensidad del campo es máxima. El campo se evalúa sin la presencia del trabajador, ya que esta puede, en ciertas situaciones de exposición, distorsionar el valor de campo. Nótese que, a bajas frecuencias, solo los campos eléctricos se ven afectados por la presencia de un trabajador. Los seres humanos no tienen propiedades magnéticas, por lo que las corrientes inducidas no bastan para afectar el campo.

La ICNIRP (2010) establece lo siguiente en la sección «Obtención del promedio espacial de los campos eléctricos y magnéticos externos»:

«Se han determinado unos niveles de referencia relativos a las condiciones de exposición en las que la variación del campo eléctrico o magnético en el espacio ocupado por el cuerpo es relativamente pequeña. En la mayoría de los casos, sin embargo, la distancia con respecto a la fuente del campo es tan pequeña que la distribución del campo no es uniforme o se localiza en una parte pequeña del cuerpo. En estos casos, la medición de la intensidad de campo máxima en la posición del espacio ocupada por el cuerpo da lugar, siempre, a una evaluación de la exposición muy segura, aunque muy conservadora».

D.2.2.2. Obtención del promedio espacial

La evaluación del campo en casos de exposición no uniforme puede llevarse a cabo de diversos modos. Tres métodos utilizados habitualmente, en orden de complejidad decreciente, consisten en la obtención de un promedio espacial para:

- un volumen ocupado por el trabajador o una parte de su cuerpo;
- una zona transversal ocupada por el trabajador o una parte de su cuerpo;
- una línea en la zona ocupada por el trabajador o una parte de su cuerpo.

Pueden consultarse los detalles correspondientes a tales métodos en diversas normas y directrices internacionales, a saber, IEEE C95.3. (2002), Cenelec EN 50357 (2001), IEC 62226 (2001), IEC 62233 (2005), IEC 62110 (2009). Cuanto más complejo sea el procedimiento de obtención del promedio, mejor será la caracterización del campo no uniforme. Sin embargo, se acepta que, con fines de la evaluación del cumplimiento, la determinación de los valores de campo en un volumen o espacio proyectado puede ser complicada, ya que tales métodos precisan de numerosos puntos de muestreo. Los métodos de obtención de promedios lineales pueden ofrecer una representación adecuada de un campo electromagnético no uniforme y, por lo tanto, se recomienda en las siguientes secciones.

a) Exposición a campos eléctricos y magnéticos entre 1 Hz y 10 MHz

Los valores promediados en el espacio de la intensidad del campo eléctrico (E_{promedio}) o de la densidad de flujo magnético (B_{promedio}) se calcularán mediante el uso de las fórmulas siguientes:

$$E_{\text{promedio}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{(Ecuación 1)}$$

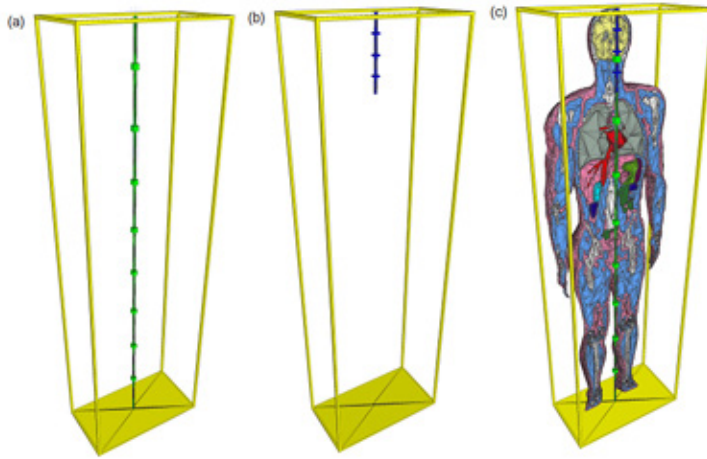
$$B_{\text{promedio}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad \text{(Ecuación 2)}$$

en la que n representa el número de ubicaciones y E_i y B_i representan, respectivamente, la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético medidas en la ubicación i .

La posición de la línea a lo largo de la que debe promediarse el campo depende de si el valor promedio espacial resultante ha de compararse con un NA inferior, superior o de extremidades. Los NA superiores se establecen con el fin de proteger frente a la estimulación nerviosa periférica en la cabeza y el tronco. Por lo tanto, si se pretende comparar el valor E_{promedio} o B_{promedio} con el NA superior, bastará normalmente con realizar una exploración lineal sencilla de los campos a lo largo de la altura de la cabeza y el tronco, a través del centro de la zona proyectada. Los NA inferiores se establecen para proteger frente a efectos sensoriales en el sistema nervioso central de la cabeza. Por lo tanto, si se pretende comparar el valor E_{promedio} o B_{promedio} con el NA inferior, será adecuado, normalmente, realizar una exploración lineal sencilla de los campos a lo largo de la altura de la cabeza, a través del centro de la zona proyectada. Por último, los NA de extremidades se establecen con el fin de proteger frente a la estimulación nerviosa en las extremidades. Por lo tanto, si se pretende comparar el valor B_{promedio} con el NA inferior, bastará normalmente con realizar una exploración lineal sencilla de los campos a lo largo de la altura de la extremidad, a través del centro de la zona proyectada.

Según las recomendaciones, para la obtención del promedio espacial para las zonas de la cabeza, la cabeza y el tronco, y las extremidades suele ser adecuado efectuar una serie de no menos de tres mediciones con una distancia de separación uniforme. También son aceptables mediciones de campo adicionales, por ejemplo las obtenidas mediante el uso de equipos de registro de datos u obtención de promedios espaciales, y ofrecerían más datos sobre la distribución espacial del campo.

Figura D.9. a) Promediación espacial del campo a lo largo de una línea vertical en la zona ocupada por el trabajador, b) promediación espacial del campo a lo largo de una línea vertical en la zona de la cabeza del trabajador, c) puntos de promediación con una vista en corte del trabajador *in situ*



b) Exposición a campos eléctricos y magnéticos entre 100 kHz y 300 GHz

Los valores promediados en el espacio de la intensidad del campo eléctrico ($E_{promedio}$), la densidad de flujo magnético ($B_{promedio}$) y la densidad de potencia ($W_{promedio}$) se calcularán mediante el uso de las fórmulas siguientes:

$$E_{promedio} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n E_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$B_{promedio} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n B_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$W_{promedio} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{(Ecuación 5)}$$

en las que n representa el número de ubicaciones, y E_i , B_i y W_i representan, respectivamente, la intensidad de campo eléctrico, la densidad de flujo magnético y la densidad de potencia medidas en la ubicación i .

Los NA relativos a la exposición a campos eléctricos y magnéticos entre 100 kHz y 300 GHz se establecen para proteger frente a efectos adversos en la salud debidos al calentamiento del cuerpo. Por lo tanto, si se pretende comparar el valor $E_{promedio}$ o $B_{promedio}$ con el NA relativo a los efectos térmicos, bastará normalmente con realizar una exploración lineal sencilla de los campos, en una línea vertical y con una distancia de separación uniforme desde el suelo y hasta alcanzar una altura de 2 m, a través del centro de la zona proyectada.

Según las recomendaciones, para la obtención del promedio espacial referido a la altura del trabajador, suele ser adecuado efectuar una serie de no menos de diez mediciones con una distancia de separación uniforme. Las ubicaciones de las mediciones de la intensidad de campo se representan como cubos verdes en la figura D.9, letra a). También son aceptables mediciones de la intensidad de campo adicionales, por

ejemplo las obtenidas mediante el uso de equipos de registro de datos u obtención de promedios espaciales, y ofrecerían más datos sobre la distribución espacial del campo.

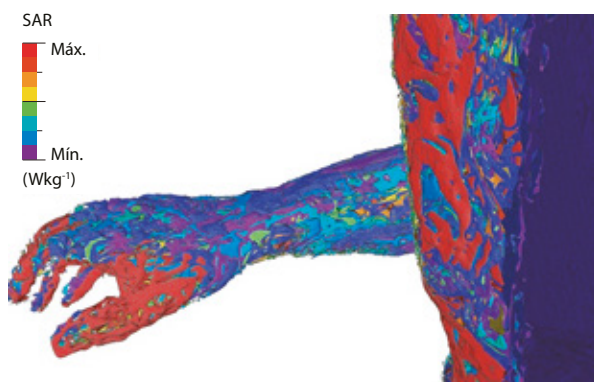
Las mediciones, en estas situaciones, deben realizarse con sensores de campos situados al menos a 0,2 m de cualquier objeto o persona, para evitar efectos de acoplamiento de campos. Nótese que los valores promediados espaciales también dependerán de las características espaciales de los campos de radiofrecuencia en relación con la postura del trabajador expuesto.

D.2.2.3. Evaluación dosimétrica para la comparación directa con los VLE

En caso de que la fuente del campo electromagnético se halle a pocos centímetros del cuerpo, la Directiva recomienda que el cumplimiento se determine dosimétricamente, para la comparación directa con los VLE.

Para la determinación exacta de los campos eléctricos inducidos dentro del cuerpo a bajas frecuencias, o de la SAR y la densidad de potencia a altas frecuencias, es preciso recurrir a cálculos numéricos. El procedimiento empleado para calcular las magnitudes dosimétricas internas se ha explicado ya en las secciones anteriores del apéndice. En la figura D.10 se ilustra un ejemplo de evaluación dosimétrica mediante el uso de cálculos numéricos.

Figura D.10 Determinación de las magnitudes dosimétricas, en este caso la SAR en la mano y el tronco, derivada de la exposición a un cable sin apantallamiento, para la comparación directa con los VLE. La Directiva recomienda adoptar este planteamiento para demostrar el cumplimiento en el caso de fuentes de campos electromagnéticos muy localizadas situadas a pocos centímetros del cuerpo



D.2.2.3.1. Conceptos dosimétricos subyacentes

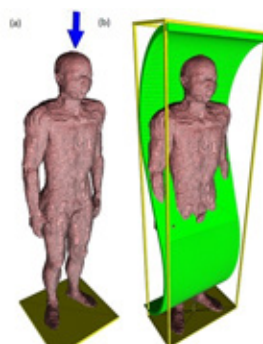
El concepto y la exactitud de las técnicas de evaluación de la exposición no uniforme pueden examinarse mediante el uso de ejemplos.

a) Ejemplo 1: Obtención del promedio espacial del campo en caso de exposición a una onda plana reflejada

Cuando una onda electromagnética reflejada interfiere con la onda entrante, puede generarse una onda estacionaria. En ciertas ubicaciones, la intensidad del campo se anula, mientras que en el punto de máxima intensidad de la onda estacionaria el campo eléctrico se duplica. Esta situación se ilustra en la figura D.11.

Aquí, un trabajador se ve expuesto a un campo polarizado horizontalmente desde arriba, con el campo orientado de delante hacia atrás. La onda se refleja en el plano de tierra conductor hacia la zona ocupada por el trabajador. Si se efectuara una única medición en esta zona, se obtendría un valor entre cero y el valor de campo máximo. Por lo tanto, es muy probable que tal medición única del valor de campo no fuera representativa de la situación de exposición. En la figura D.12 se muestra el resultado de esta exposición del trabajador a dicha onda estacionaria de 200 MHz. Puede observarse que el lugar de la absorción viene determinado principalmente por las posiciones de las crestas y los valles de la onda estacionaria.

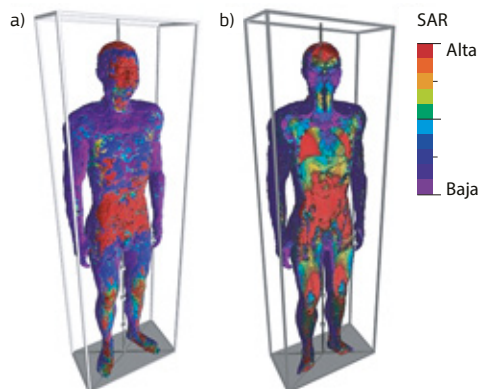
Figura D.11 Ejemplo 1: Modelo humano expuesto a un campo electromagnético reflejado a la zona ocupada por la persona. Dicha zona se representa como una caja amarilla. La onda estacionaria se representa en color verde.



$$E_{spa} = \left[\frac{\int E^2(z) dz}{\int dz} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

La integral expuesta en la ecuación 6 nos da una definición exacta del valor de campo promediado linealmente en la zona ocupada por el trabajador.

Figura D.12 Gráficas de SAR del ejemplo 1: Las distribuciones de la SAR en a) todo el cuerpo y b) vistas de corte de un modelo humano expuesto a un campo eléctrico polarizado horizontalmente y alineado de delante hacia atrás, con una irradiación de onda plana a 200 MHz desde arriba, en condiciones de puesta a tierra



Puesto que se recurre a un número finito de mediciones para calcular el campo promediado en el espacio, es previsible que, cuantas más mediciones se efectúen, más próximo será este valor a la solución exacta calculada mediante la integral. Ello es cierto en general aunque, para la evaluación del cumplimiento, suele bastar con unas diez mediciones. Las diferencias entre el valor exacto del campo eléctrico promediado en el espacio y el valor calculado mediante el uso de x mediciones suelen ser escasas, incluso en caso de que se efectúen pocas mediciones. La excepción a esto se da cuando un nodo de la onda estacionaria se halla próximo a un valor medido.

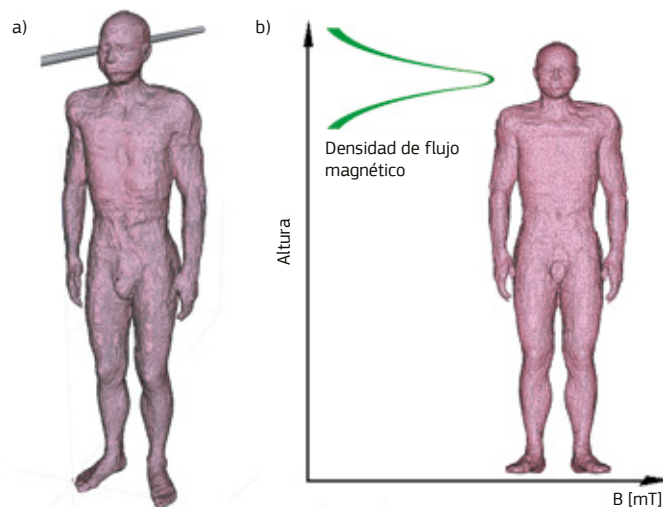
Aunque el campo promediado en el espacio puede representarse mediante el uso de diez mediciones, una cantidad mayor ofrecerá un valor más exacto. Por ello, se recomienda utilizar equipos modernos, si se dispone de ellos, que tengan la capacidad de efectuar entre 200 y 300 mediciones a lo largo del cuerpo (por ejemplo, una sonda que se desplaza durante 10 segundos con una tasa de registro de 32 puntos de datos por segundo producirá 320 mediciones), ya que, obviamente, cuantas más mediciones, mayor será el nivel de exactitud.

En caso de que una fuente de campos electromagnéticos se sitúe próxima al cuerpo, el campo incidente en la zona ocupada por el cuerpo, podrá no ser uniforme. Un ejemplo de ello lo constituye un cable situado cerca de la cabeza (figura D.13).

b) Ejemplo 2: Obtención del promedio espacial del campo derivado de la exposición a un campo de 50 Hz generado por un cable

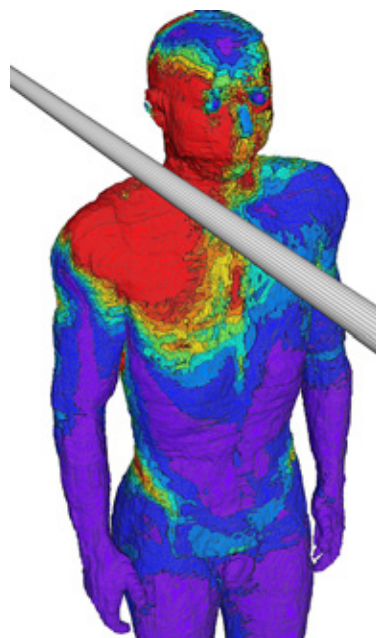
La figura D.14 muestra la distribución del campo eléctrico inducido referida a la exposición al nivel de la cabeza a un tramo recto de cable que genera un campo de 50 Hz. Como puede verse, la absorción del campo electromagnético se localiza principalmente en la zona de la cabeza y del cuello.

Figura D.13. — Ejemplo 2: a) modelo humano expuesto a un tramo recto de cable, b) variación del campo generado con la altura



Las investigaciones efectuadas han demostrado que la recomendación de efectuar tres medidas es suficiente en el caso de las fuentes localizadas del intervalo ELF. La diferencia entre el uso de tres puntos distribuidos en la zona de la cabeza y un número infinito de puntos en este ejemplo de exposición a 50 Hz se cifra en aproximadamente un 8 %. Obviamente, esta diferencia puede reducirse efectuando más mediciones en una línea vertical, con una distancia de separación uniforme.

Figura D.14. Ejemplo 2: Distribución de la densidad de flujo magnético derivada de la exposición a un campo de 50 Hz generado por un cable próximo a la cabeza





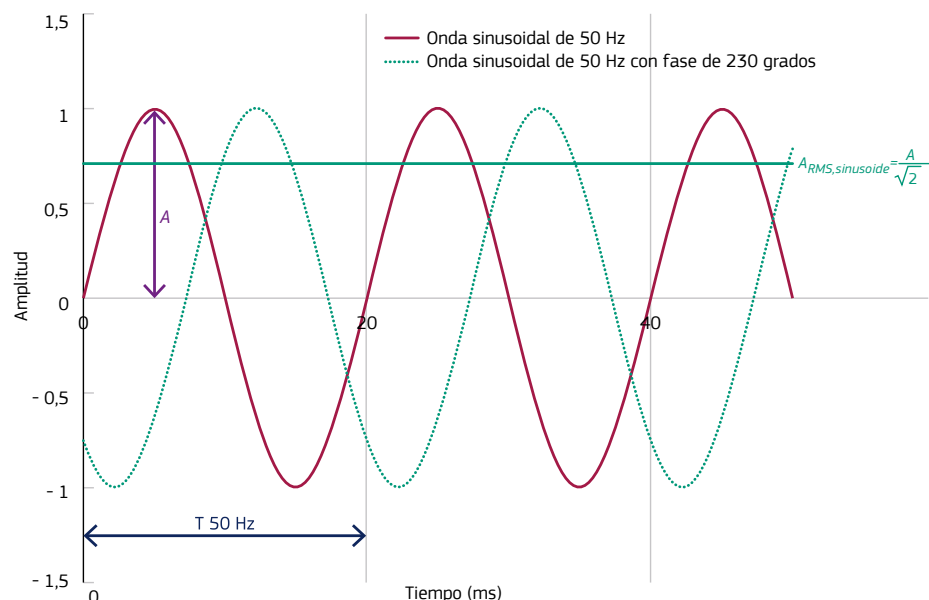
Mensaje clave: obtención del promedio espacial

A los efectos de la obtención de un promedio espacial, bastarán, normalmente, tres puntos de medición en el caso de la exposición a bajas frecuencias o diez puntos para las exploraciones de radiofrecuencia. El incremento de la exactitud va reduciéndose gradualmente con cada nuevo punto de medición, de modo que, por lo general, no es necesario utilizar más de diez. Si la obtención del promedio espacial a lo largo de una línea resulta complicada en una situación de exposición determinada, habrá de recurrirse a una única medición de la intensidad de campo máxima.

D.3. Evaluación de exposiciones a múltiples frecuencias

Como se ha indicado en el capítulo 3 y el apéndice A, los campos eléctricos y magnéticos externos de baja frecuencia variables en el tiempo inducen campos eléctricos internos. La variación del campo en el tiempo se describe mediante una forma de onda. En el caso de un campo externo descrito por una onda sinusoidal sencilla (figura D.15), el campo eléctrico inducido en el cuerpo es proporcional a la amplitud del campo externo y a su frecuencia.

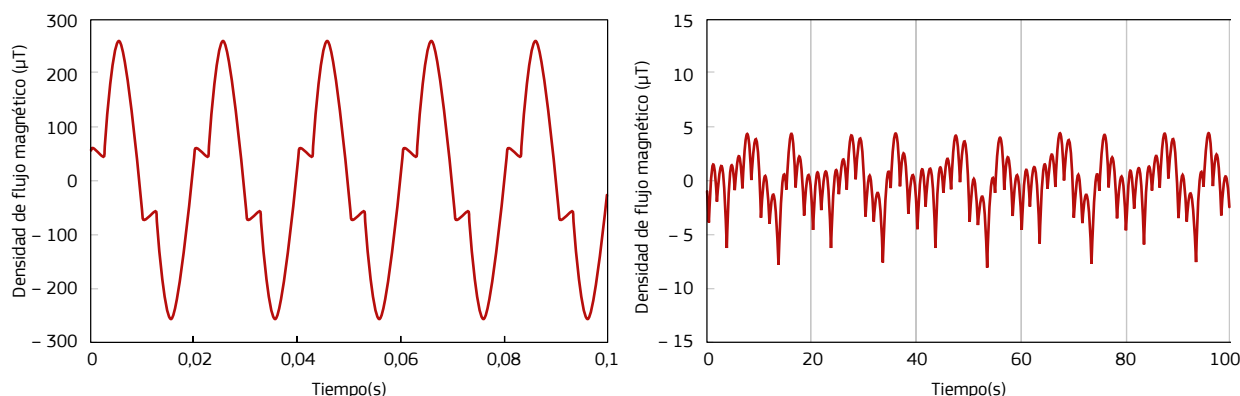
Figura D.15. Onda sinusoidal de 50 Hz. Las ondas sinusoidales son periódicas y tienen una frecuencia f resultado del cociente $1/T$, donde T es el período de la forma de onda (por ejemplo, $T = 20$ ms para una onda sinusoidal de 50 Hz). El valor cuadrático medio (RMS) de una onda sinusoidal viene dado por la amplitud máxima dividida por $\sqrt{2}$. El efecto de fase de la onda sinusoidal consiste en ir variando a lo largo del eje temporal.



Las fuentes de campos eléctricos y magnéticos inferiores a 10 MHz exhiben muy a menudo formas de onda que difieren (en ocasiones sustancialmente) de una onda sinusoidal perfecta (figura D.15) pero son, no obstante, periódicas (figura D.16). Es decir, la forma de onda se repite a sí misma a lo largo del tiempo. Esta clase de formas de onda complejas son equivalentes a la suma de una serie de ondas sinusoidales con frecuencias distintas, a las que se suele denominar componentes espectrales. Para una forma de onda dada, cada uno de tales componentes espectrales se describe mediante una amplitud y una fase. A modo de analogía, un color determinado puede descomponerse en cantidades distintas de los colores primarios (rojo, verde y azul).

El color sería la forma de onda, el rojo, el verde y el azul son los componentes espectrales y la intensidad de cada color primario es la amplitud de cada componente espectral. El espectro de la forma de onda ofrece la información espectral (frecuencias, amplitudes, fases) y se obtiene normalmente mediante la realización de un análisis de Fourier de la forma de onda, o bien directamente a través de la medición con instrumental de banda estrecha (aunque este podría no facilitar información sobre la fase).

Figura D.16. Ejemplo de formas de onda con densidades de flujo magnético complejas en torno a sistemas de detección de fisuras. A la derecha, se ha destacado una periodicidad de 20 ms mediante líneas de cuadrícula punteadas verticales



D.3.1. Efectos no térmicos (> 1 Hz a 10 MHz)

La evaluación del cumplimiento de los NA (y los VLE) en el ámbito de las frecuencias bajas (por debajo de 10 MHz) puede llevarse a cabo de distintos modos, siendo ciertos métodos más conservadores que otros, pero más sencillos de aplicar.



Mensaje clave: evaluación de múltiples frecuencias

El método de ponderación de picos en el dominio temporal es el método de referencia recomendado por la Directiva CEM, aunque también pueden emplearse métodos alternativos siempre que ofrezcan unos resultados básicamente equivalentes (o más conservadores), tal como el método de frecuencias múltiples descrito en la sección D.3.1.2.

D.3.1.1. Método de ponderación de picos

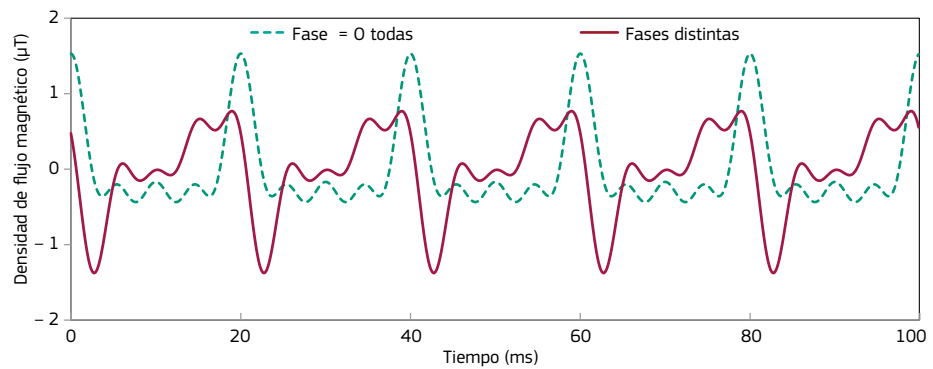
El método de ponderación de picos (WPM) es un método que tiene en cuenta la amplitud y las fases de los componentes espectrales que integran la señal (véase la figura D.17 sobre el efecto de las fases espectrales en la forma de onda y el índice de exposición). El método se denomina de «ponderación de picos» porque la forma de onda se pondera por medio de los NA dependientes de la frecuencia y el pico de amplitud de la forma de onda ponderada da el índice de exposición. La ponderación (o el filtrado) puede efectuarse en el ámbito de la frecuencia o en el del tiempo. Este método también es adecuado para evaluar el cumplimiento de los valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos en la salud y con efectos sensoriales.



Mensaje clave: índice de exposición (EI)

El índice de exposición representa la exposición observada dividida por el valor límite. Si el índice de exposición es inferior a uno, la exposición será conforme.

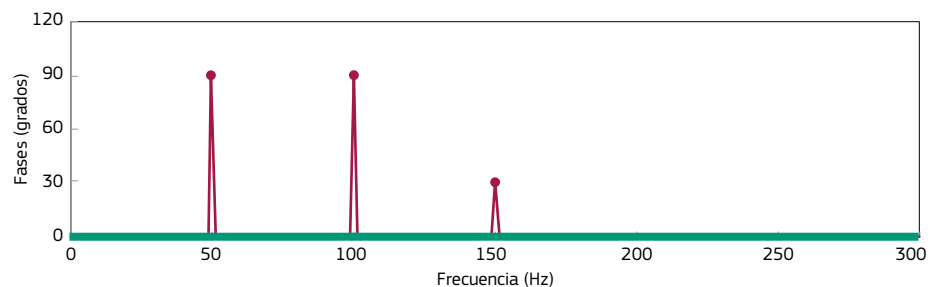
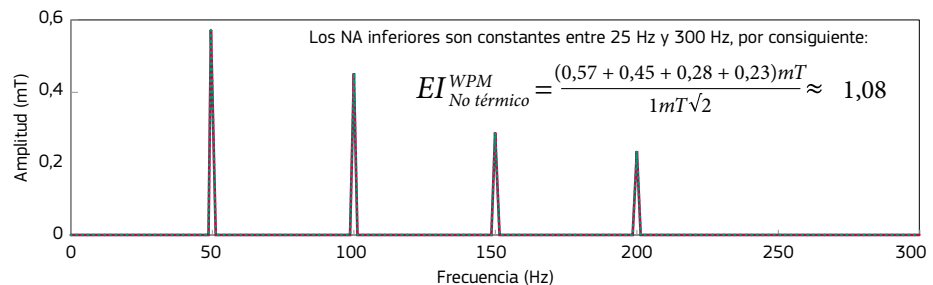
Figura D.17. Ejemplo del efecto de las fases de los componentes espectrales en la forma de onda (gráfico superior). Ambas formas de onda constan de ondas cosinusoidales a 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz y 200 Hz (gráfico inferior). La única diferencia entre las dos formas de onda consiste en que, por una parte, todas las fases de los componentes espectrales se han puesto a cero (línea punteada verde), mientras que las fases de tres componentes espectrales de la otra forma de onda (línea continua roja) se han modificado (gráfico intermedio)



Los NA inferiores son constantes entre 25 Hz y 300 Hz, por consiguiente, para los NA inferiores:

$$\text{Todas las fases} = 0: EI_{\text{No térmico}}^{\text{WPM}} = \frac{1,53 \text{ mT}}{1 \text{ mT}\sqrt{2}} \approx 1,08 \Rightarrow \text{No conforme}$$

$$\text{Fases distintas: } EI_{\text{No térmico}}^{\text{WPM}} = \frac{1,38 \text{ mT}}{1 \text{ mT}\sqrt{2}} \approx 0,97 \Rightarrow \text{Conforme}$$

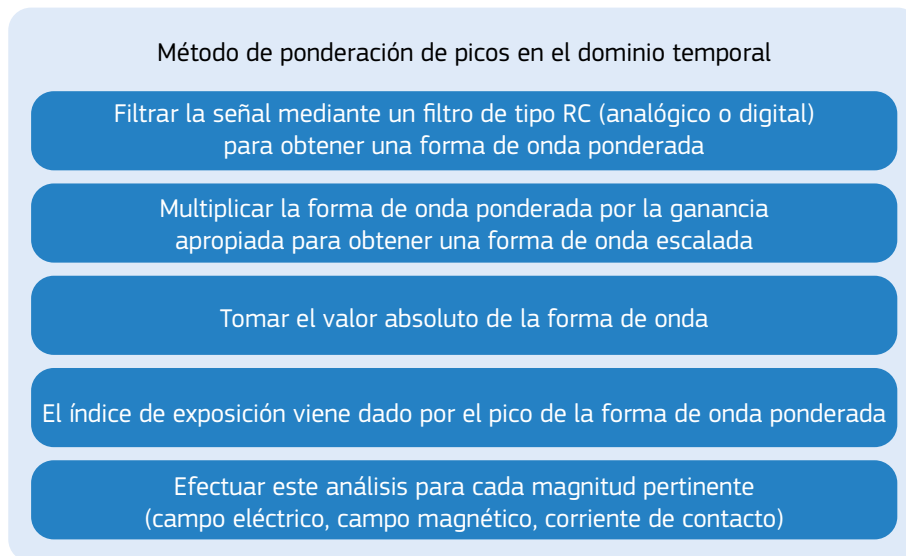


WPM en el dominio temporal

Al aplicar el método de ponderación de picos al dominio temporal, la ponderación se lleva a cabo mediante el uso de filtros RC con ganancias dependientes de la frecuencia que reflejan dependencia de la amplitud y la frecuencia de los NA (figura D.18). Podrían darse ligeras diferencias en la amplitud y la fase del filtro al usar filtros RC, frente a

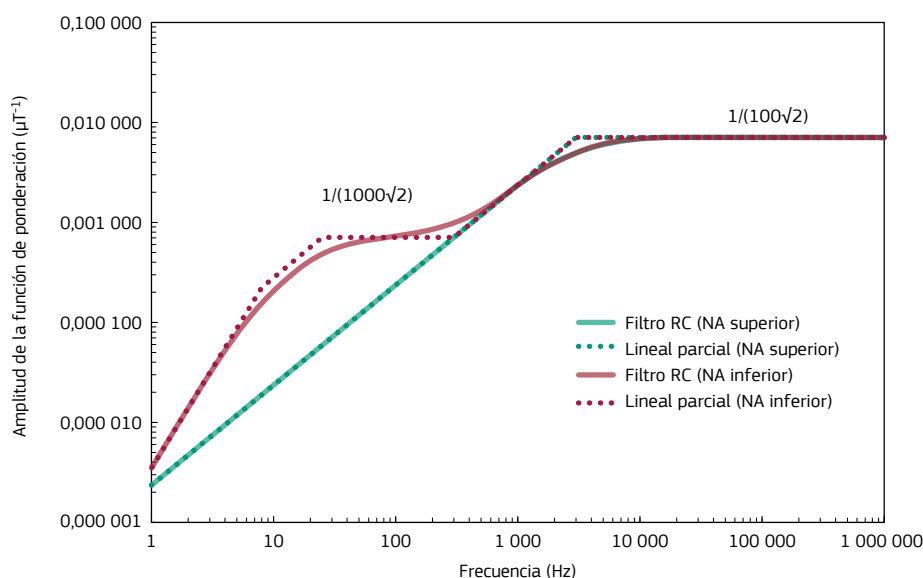
los valores parciales dados en la Directiva ⁽¹⁾ (figuras D.19 y D.20); sin embargo, los filtros RC representan un comportamiento biológico más realista y la ICNIRP considera aceptables estas diferencias [ICNIRP 2010, Jokela 2000].

Figura D.18. Fases de cálculo del método de ponderación de picos en el dominio temporal



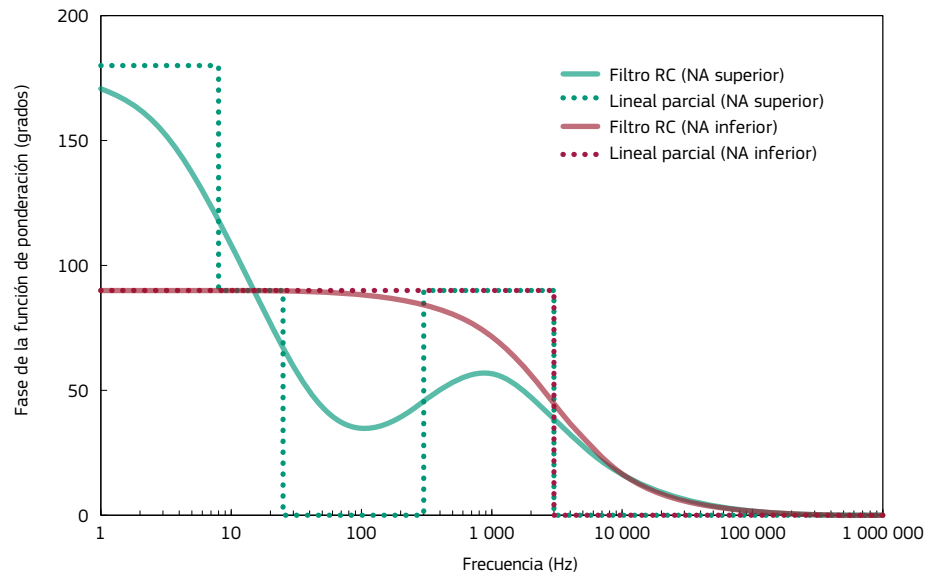
El filtrado en el dominio temporal puede llevarse a cabo mediante el procesamiento posterior de la forma de onda medida o bien digitalmente, por ejemplo haciendo uso de un equipo comercializado que incorpore esta capacidad de filtrado (la función se denomina, en ocasiones, conformación del dominio temporal [*Shaped Time Domain*, STD]). De utilizarse un equipo vendido en el mercado, el usuario deberá cerciorarse que aquel utilice la serie de NA pertinentes (frente a otras normas de exposición u otros métodos).

Figura D.19. Amplitud de la función de ponderación para el WPM: Valores lineales parciales empleados en el ámbito de la frecuencia (según se definen en la subsección siguiente) y valores aproximados (filtro RC) empleados en el dominio temporal



⁽¹⁾ La amplitud parcial del filtro viene determinada por la inversa del NA mientras que la fase parcial del filtro viene determinada por la ecuación 7.

Figura D.20. Fase de la función de ponderación para el WPM: Valores lineales parciales empleados en el ámbito de la frecuencia (según se definen en la subsección siguiente) y valores aproximados (filtro RC) empleados en el dominio temporal



WPM en el ámbito de la frecuencia

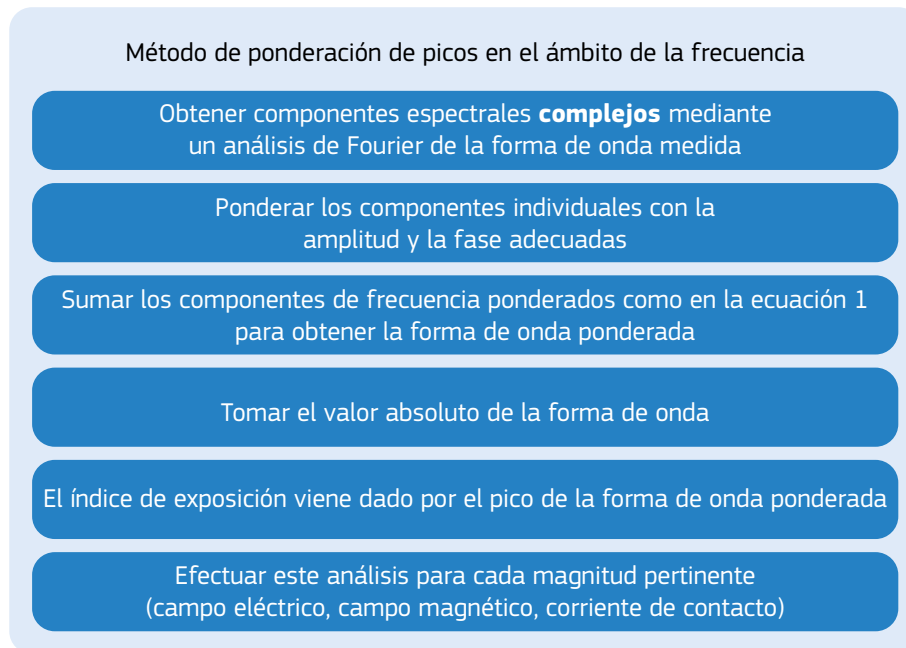
Las fases para llevar a cabo el método de ponderación de picos en el ámbito de la frecuencia se ilustran en la figura D.21 y se describen en las directrices de la ICNIRP de 2010 (ICNIRP 2010). Para calcular la forma de onda ponderada, la amplitud de cada componente espectral se divide por los NA pertinentes (o los VLE, si las amplitudes estudiadas corresponden a campos eléctricos internos) y se añade una fase φ_f a la fase de cada componente espectral. A continuación, la información espectral ponderada se convierte de nuevo al dominio temporal mediante el uso de lo siguiente:

$$EI_{no\ térmico}^{WP} = Máximo \left\{ \left| \sum_f \frac{|A_f|}{NA_f \sqrt{2}} * \cos(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f) \right| \right\} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde $|A_f|$ y θ_f representan, respectivamente, el pico de amplitud (intensidad de campo eléctrico o densidad de flujo magnético) y la fase del componente espectral a una frecuencia f y NA_f es el NA pertinente a dicha frecuencia. La fase φ_f es una función de frecuencia y se define en el apéndice de las directrices de la ICNIRP 2010 (ICNIRP 2010):

$$\varphi_f = \begin{cases} 180^\circ, \text{ para } NA_f \propto f^{1/2} \\ 90^\circ, \text{ para } NA_f \propto f^1 \\ 0^\circ, \text{ para } AL_f = \text{constante}(\propto f^0) \\ -90^\circ, \text{ para } NA_f \propto f \end{cases} \quad \text{Ecuación 8}$$

Figura D.21. Fases de cálculo del método de ponderación de picos en el ámbito de la frecuencia



Estos son los valores parciales a los que se refiere la figura D.20. Como se ha indicado anteriormente, este método también es adecuado para evaluar el cumplimiento de los valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos en la salud y con efectos sensoriales. Para evaluar el cumplimiento de los VLE, $|A_f|$ y θ_f son la amplitud y la fase de los campos eléctricos inducidos (internos) y los NA se sustituyen por VLE en la ecuación 7 y la ecuación 8. Al igual que en los cálculos no térmicos, la $\sqrt{2}$ se elimina de la ecuación al emplear los VLE, ya que estos se definen como valores pico, no como RMS.

D.3.1.2. Método alternativo: norma de frecuencias múltiples

Un método alternativo al de la ponderación de picos es la norma de frecuencias múltiples (MFR), que es más sencilla de aplicar aunque más conservadora que el primero. Si es probable que la exposición se aproxime a los NA (o los VLE) a bajas frecuencias, este método puede no ser adecuado, ya que, a menudo, da lugar a una evaluación muy conservadora al ignorar las fases de los componentes espectrales y partir del supuesto de que las ondas sinusoidales de los componentes espectrales coinciden al mismo tiempo, de modo que todo el campo varía de manera acusada con el tiempo [ICNIRP 2010].

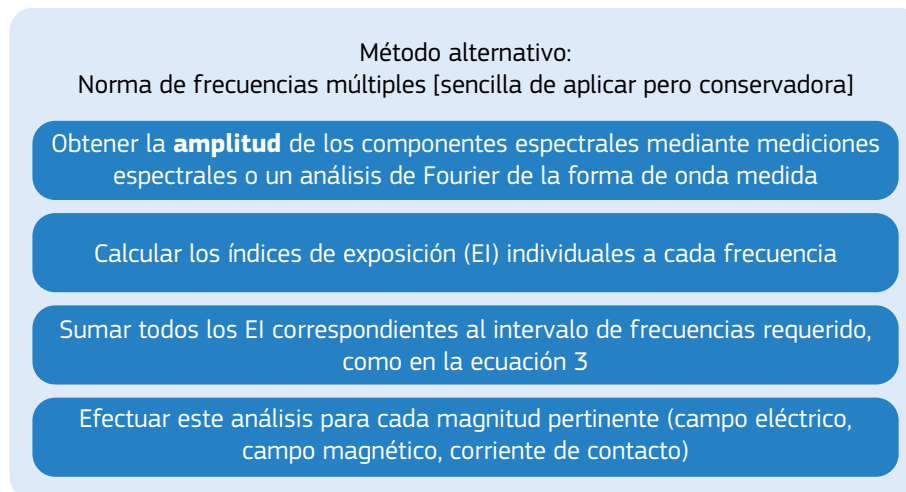
El método MFR se describe en las ecuaciones 3 a 6 en las directrices de la ICNIRP [ICNIRP 2010], aunque deben utilizarse los NA y los VLE en lugar de los niveles de referencia y las restricciones básicas, respectivamente:

$$EI_{no\ térmico, X}^{MFR} = \sum_{f=1\text{ Hz}}^{10\text{ MHz}} \frac{X_f}{NA(X)_f} \quad \text{Ecuación 9}$$

donde X_f es la amplitud (RMS), a la frecuencia f , de la cantidad externa medida (o calculada) y $NA(X)_f$ es el nivel de actuación pertinente a la frecuencia f . Por NA pertinente se entiende el NA a la frecuencia del componente espectral y también el tipo de NA requerido para la evaluación (intensidad de campo eléctrico, densidad de flujo magnético, inferior, superior, contacto), según se define en el cuadro B.2. del anexo II de la Directiva. Al evaluar con arreglo a los VLE, X_f se convierte en la amplitud de la

intensidad del campo eléctrico inducido (pico, no RMS), a la frecuencia f , y $NA(X)_f$ se sustituye por VLE_f . En la figura D.22 se indican las fases de cálculo del índice de exposición mediante el uso del método de la suma de frecuencias múltiples.

Figura D22. Fases de cálculo de la norma de frecuencias múltiples



El método de suma de frecuencias múltiples es bastante sencillo y hay una gama de equipos capaces de llevar a cabo esta evaluación de manera automática, con arreglo a las directrices de la ICNIRP. Este equipo es apto para evaluar el cumplimiento de los NA, en tanto se haya cargado en el equipo la serie pertinente de NA. Este método también es adecuado para evaluar el cumplimiento de los valores límite de exposición (VLE) relacionados tanto con efectos en la salud como con efectos sensoriales.

En los cuadros 5a a 5d se muestra una comparación de los índices de exposición obtenidos mediante el uso del WPM en el ámbito de la frecuencia y el método MFR, así como de los obtenidos directamente mediante el uso de la función STD (WPM en el dominio temporal) con una sonda disponible en el mercado.

Cuadro D.5a. Soldadora por puntos de 50 Hz (50 kVA). Mediciones efectuadas a una distancia de 0,3 m a la misma altura que el punto de soldadura

Método	NA inferiores	NA superiores	NA de extremidades
MFR ^a	3,18	1,70	0,57
WPM ^a	0,94	0,45	0,15
STD ^b	0,83	0,34	0,13

^a Los cálculos se efectuaron en el ámbito de la frecuencia a partir de una traza con $N = 4096$, $T = 0,84$ s (es decir, la frecuencia máxima considerada fue de aproximadamente 2 kHz).

^b Las mediciones STD se efectuaron haciendo uso de un equipo con un intervalo de frecuencias de 1 Hz a 400 kHz.

Cuadro D.5b. Soldadora de 2 kHz (las mediciones se efectuaron a una distancia de 0,33 m desde el centro de la pinza de soldadura)

Método	NA inferiores	NA superiores	NA de extremidades
MFR ^a	4,52	3,44	1,15
WPM ^a	1,08	0,81	0,27
STD ^b	—	1,00	—

^a Los cálculos se efectuaron en el ámbito de la frecuencia a partir de una traza con $N = 4096$, $T = 0,5$ s (es decir, la frecuencia máxima considerada fue de aproximadamente 4 kHz).

^b Las mediciones STD se efectuaron haciendo uso de un equipo con un intervalo de frecuencias de 1 Hz a 400 kHz.

Cuadro D.5c. Estimulador magnético transcraneal (EMT)

Método	NA inferiores	NA superiores	NA de extremidades
MFR ^a	21,88	21,81	7,27
WPM ^a	13,43	13,23	4,41
STD ^b	—	12,22	4,11

^a Los cálculos se efectuaron en el ámbito de la frecuencia a partir de una traza con $T = 5$ ms (es decir, la frecuencia máxima considerada fue de aproximadamente 409 kHz).

^b Las mediciones STD se efectuaron haciendo uso de un equipo con un intervalo de frecuencias de 1 Hz a 400 kHz.

Cuadro D.5d. Soldadora continua de 100 kVA (medición efectuada a 28 cm delante y debajo del punto de soldadura)

Método	NA inferiores	NA superiores	NA de extremidades
MFR ^a	4,30	2,59	0,86
WPM ^a	1,09	0,61	0,20
STD ^b	1,13	0,59	0,16

^a Los cálculos se efectuaron en el ámbito de la frecuencia a partir de una traza con $T = 333$ ms (la frecuencia máxima considerada fue de 6,1 kHz).

^b Las mediciones STD se efectuaron haciendo uso de un equipo con un intervalo de frecuencias de 1 Hz a 400 kHz.

Si existen componentes espectrales no desdeñables más allá de los 100 kHz, los efectos térmicos tendrán que considerarse y evaluarse independientemente de los no térmicos. Esto se tratará en la siguiente subsección.

D.3.1.3. Método alternativo: Evaluación sencilla de base fisiológica

En el dominio temporal, los campos pulsátiles pueden dividirse en partes de componentes de campo sinusoidales, trapezoidales, triangulares o exponenciales únicos y múltiples o constantes (véase la figura D.23). Teniéndolo en cuenta, puede llevarse a cabo una evaluación simplificada en el ámbito de las bajas frecuencias haciendo uso de los parámetros descritos a continuación (Heinrich, 2007). El método se basa en la fisiología, sobre todo en el mecanismo de estimulación, del modo siguiente:

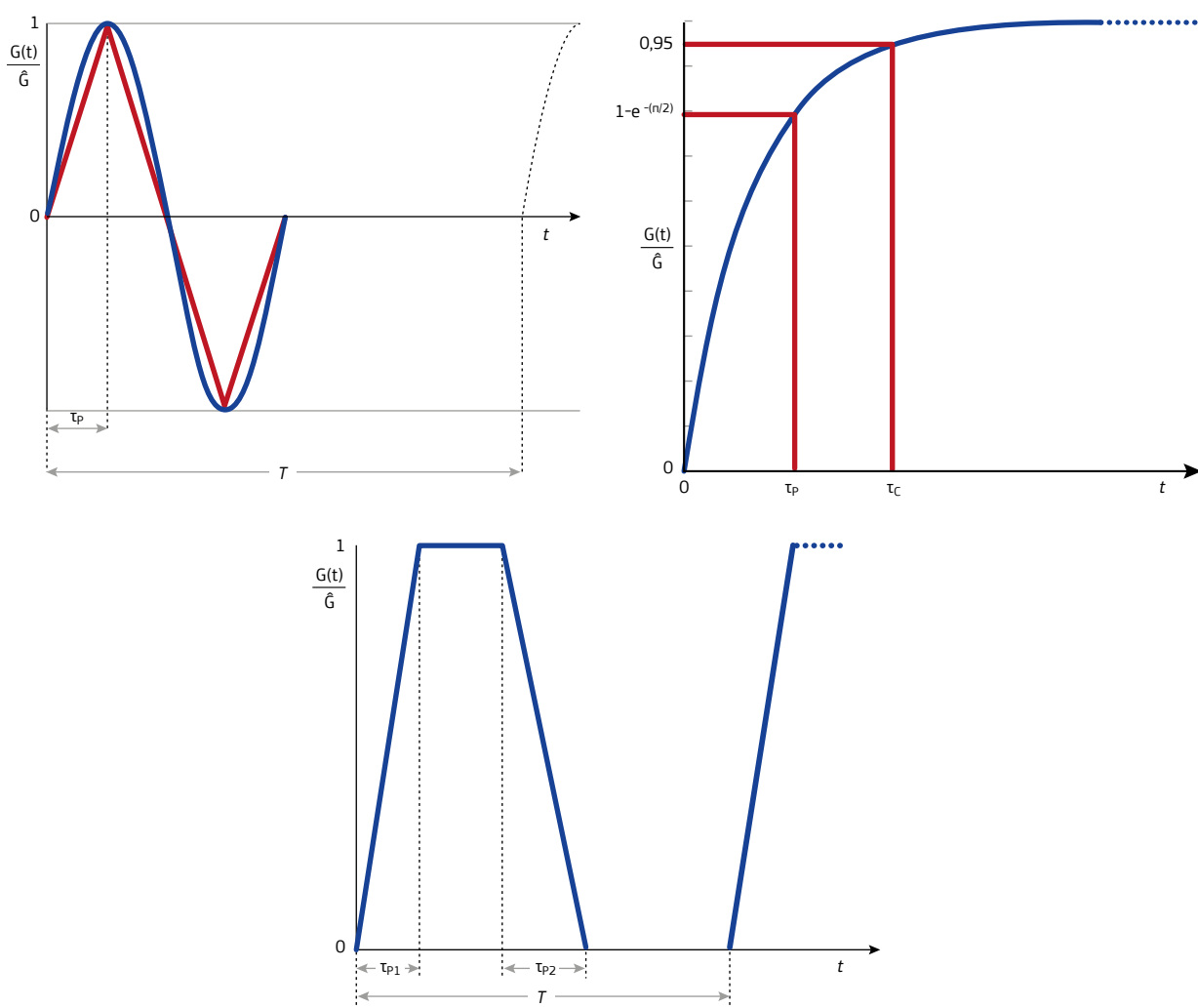
- 1) Los efectos de estimulación solo tienen lugar si se supera el umbral bien definido.

2) Los impulsos por debajo de dicho umbral no pueden crear ningún estímulo, aunque sean muy prolongados.

3) Si los impulsos son muy breves serán necesarias unas intensidades mayores.

El procedimiento de evaluación se incluye en el Reglamento de prevención de accidentes de la Asociación Alemana del Seguro Social frente a Accidentes (BGV B11, 2001). No obstante, ha de señalarse que este Reglamento de 2001 no emplea los niveles de actuación y los valores límite de exposición de la nueva Directiva 2013/35/UE.

Figura D.23. Curvas de señal (impulsos) de forma sinusoidal (arriba izquierda), exponencial (arriba derecha) y trapezoidal o triangular (abajo)



Los campos asociados a estos tipos de curvas de señal (figura D.23) se describen mediante los siguientes parámetros adicionales:

G En lugar de la magnitud G , se utiliza la intensidad de campo eléctrico, E , la intensidad de campo magnético, H , o la densidad de flujo magnético, B .

$G(t)$ indica la función temporal, \hat{G} el valor máximo.

T Duración del impulso o amplitud del impulso con la pausa sucesiva

τ_p	Duración de una modificación de campo relativa a curvas de señal sinusoidales, triangulares o trapezoidales desde cero hasta el valor máximo positivo o negativo o desde este hasta cero, respectivamente. El estudio de τ_p en las curvas de señal exponenciales se llevará a cabo con arreglo al diagrama anterior. Si las duraciones individuales τ_{pi} difieren, se incluirán todos estos valores τ_{pi} para la realización de cálculos adicionales.
T_I	Tiempo de integración, donde $T_I = \begin{cases} T & \text{cuando } T \leq 1 \text{ s} \\ 1 \text{ s} & \text{en todos los demás casos} \end{cases}$
τ_{pmin}	El valor más pequeño de todas las duraciones τ_{pi} : $\tau_{pmin} = \min(\tau_{pi})$
τ_c	Cantidad auxiliar para definir curvas de señal exponenciales. Si las duraciones individuales τ_{ci} difieren, se incluirán todos estos valores τ_{ci} para la realización de cálculos adicionales.
τ_D	Suma de tiempos de todas las modificaciones de campo i durante un intervalo de tiempo T_I para: — curvas de señal sinusoidales, triangulares y trapezoidales: $\tau_D = \sum_i \tau_{pi}$ — curvas de señal exponenciales: $\tau_D = \sum_i \tau_{ci}$
f_p	Frecuencia de una modificación de campo, donde: $f_p = \frac{1}{4 \cdot \tau_{pmin}}$
V, V_{max}	Factor de ponderación, factor de ponderación máximo $V = \begin{cases} \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} & \text{donde } \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} \leq V_{max} \\ V_{max} = 2,6 & \text{en todos los demás casos} \end{cases}$
$\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,max}$	Derivada de tiempo máximo de la densidad de flujo magnético $\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,max} = \omega \hat{B} \cdot V = 2\pi \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$
$\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,medio}$	Derivada de tiempo medio de la densidad de flujo magnético $\left \frac{dB(t)}{dt} \right _{p,medio} = \frac{\omega \hat{B} \cdot V}{\pi/2} = 4 \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$

Cuadro D.6. Niveles de actuación de la derivada de tiempo máximo de la densidad de flujo magnético $\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,máx}$ en (T/s) con arreglo al cuadro B.2 de la Directiva 2013/35/UE

Intervalo de frecuencias	Nivel de actuación inferior	Nivel de actuación superior	Nivel de actuación relativo a la exposición de las extremidades a un campo magnético localizado
1 Hz < f_p < 8 Hz	$1,8 \cdot V/f_p$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
8 Hz < f_p < 25 Hz	$0,2 \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
25 Hz < f_p < 300 Hz	$0,01 \cdot f_p \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
300 Hz < f_p < 3 kHz	$2,7 \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
3 kHz < f_p < 10 MHz	$0,001 \cdot f_p \cdot V$	$0,001 \cdot f_p \cdot V$	$0,003 \cdot f_p \cdot V$

Cuadro D.7. Niveles de actuación de la derivada de tiempo medio de la densidad de flujo magnético $\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,máx}$ en (T/s) con arreglo al cuadro B.2 de la Directiva 2013/35/UE, promediada sobre el intervalo de tiempo τ_p

Intervalo de frecuencias	Nivel de actuación inferior	Nivel de actuación superior	Nivel de actuación relativo a la exposición de las extremidades a un campo magnético localizado
1 Hz < f_p < 8 Hz	$1,15 \cdot V/f_p$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
8 Hz < f_p < 25 Hz	$0,13 \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
25 Hz < f_p < 300 Hz	$6 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
300 Hz < f_p < 3 kHz	$1,7 \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
3 kHz < f_p < 10 MHz	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$2 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$

Los valores límite de exposición de la Directiva 2013/35/UE se cumplirán en caso de que se apliquen los niveles de actuación a este procedimiento.

Los factores de ponderación V , $V_{máx}$ y los cuadros relativos a los niveles de actuación para este procedimiento de evaluación se adecuan a los requisitos de la Directiva 2013/35/UE.

D.3.2. Efectos térmicos (100 kHz a 300 GHz)

D.3.2.1. Evaluación con arreglo a los NA

En el caso de campos electromagnéticos con componentes espectrales no desdeñables por encima de los 100 kHz, los efectos térmicos serán pertinentes y el EI total relativo al efecto térmico vendrá dado por [ICNIRP 1998]:

$$EI_{\text{térmico},X} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ MHz}} \frac{X_f^2}{NA(X)_{\text{térmico},X}^2}$$

Ecuación 10

donde X_f es la amplitud (RMS), a la frecuencia f , y X representa la intensidad de campo eléctrico, la densidad de flujo magnético o la corriente de contacto. $NA(X)_{\text{térmico},f}$ es el nivel de actuación relativo a efectos térmicos a la frecuencia f , según se define en los cuadros B.1, B.2 y B.3 del anexo III de la Directiva. Si la comparación se efectúa con arreglo a la intensidad de campo, X_f^2 tiene que ser un promedio a lo largo de un período de seis minutos a frecuencias inferiores a 6 GHz, o un período de duración determinada por $\tau = 68/f^{1.05}$ minutos (donde f se expresa en GHz) para frecuencias superiores a 6 GHz. En el caso de corrientes de contacto, la suma solo se lleva a cabo entre 100 kHz y 110 MHz y no es necesario obtener un promedio temporal.

La pendiente de la forma de onda de un CEM no influye en el calentamiento de los tejidos y, por tanto, el método de ponderación de picos no se emplea para evaluar el cumplimiento de los niveles de actuación fijados para evitar efectos térmicos.

En el caso de impulsos de RF con frecuencias portadoras superiores a 6 GHz, la densidad de potencia máxima promediada para la amplitud del impulso ha de ser inferior a 50 kWm⁻², lo que equivale a 1 000 veces el NA relativo a la densidad de potencia (cuadro B.1, anexo III de la Directiva).

Al igual que en el caso de los cálculos no térmicos, cuando los campos externos varían considerablemente según la zona del cuerpo del trabajador de que se trate, puede ser necesario incluir un promedio espacial de los niveles de exposición, adecuado a la parte del cuerpo citada en el límite que se esté aplicando. Ello se trata en la sección anterior (sección D.2).

Evaluación con arreglo a los NA relativos a las corrientes de extremidades (10 MHz–110 MHz)

La evaluación de las corrientes de extremidades se sirve de la misma ecuación que la empleada para los campos eléctricos y magnéticos, aunque solo se tienen en cuenta las frecuencias de entre 10 MHz y 110 MHz. Nótese que $I_{L,f}^2$, el cuadrado de la corriente de extremidades a la frecuencia f , tiene que promediarse para un período de seis minutos.

D.3.2.2. Evaluación con arreglo a los VLE

Evaluación con arreglo a los VLE relativos a los efectos en la salud (100 kHz–300 GHz)

Tal como se describe en [ICNIRP 1998], el índice de exposición relativo a los efectos térmicos en la salud viene determinado por:

$$EI_{\text{térmico},ELV} = \frac{1}{VLE(SAR)} \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} W_i \langle SAR_f \rangle + \frac{1}{VLE(S)} \sum_{f>6 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \langle S_f \rangle \quad \text{Ecuación 11}$$

donde

$\langle SAR_f \rangle$ es la tasa de absorción específica de energía (SAR) a la frecuencia f , en W/kg, promediada a lo largo de un período de seis minutos.

$VLE(SAR)$ es el VLE relativo a la tasa de absorción específica de energía (SAR), en W kg⁻¹, según se especifica en el cuadro A1 del anexo III de la Directiva.

$\langle S_f \rangle$ es la densidad de potencia a la frecuencia f , en Wm⁻², promediada para una superficie de 20 cm² de zona expuesta y a lo largo de un período de tiempo dado por $\tau = 68/f^{1.05}$ minutos (donde f se expresa en GHz).

$VLE(S)$ es el VLE relativo a la densidad de potencia, igual a 50 Wm⁻², según se especifica en el cuadro A1 del anexo III de la Directiva.

Para evaluar la SAR localizada, frente al promedio para todo el cuerpo, aquella debe promediarse para una masa cualquiera de 10 g de tejido contiguo; la SAR máxima obtenida así debe ser el valor empleado en la ecuación 10. La sección D.2 ofrece más información sobre la obtención de promedios.

Evaluación con arreglo a los VLE relativos a los efectos sensoriales (300 MHz–6 GHz)

Los efectos sensoriales auditivos pueden derivarse de la exposición de la cabeza a una radiación de microondas pulsátil con una frecuencia de entre 300 MHz y 6 GHz. Para evitar tales efectos, deben cumplirse los VLE relativos a la absorción específica, en los que el índice de exposición viene determinado por:

$$EI_{VLE \text{ auditivo}} = \frac{1}{VLE(SAR)} \sum_{f=300 \text{ MHz}}^{6 \text{ GHz}} SA_f \quad \text{Ecuación 12}$$

donde

SA_f es la absorción específica (SA) a la frecuencia f en la cabeza, en J kg^{-1} , equivalente al máximo de los valores promediados para 10 g de tejido, y $VLE(SA)$ es igual a 10 mJ kg^{-1} .

D.3.3. Evaluación de CEM con frecuencias situadas entre 100 kHz y 10 MHz

En caso de presencia de señales de RF con frecuencias situadas entre 100 kHz y 10 MHz, incluidos armónicos de señales fundamentales con frecuencias por debajo de 100 kHz, deberá demostrarse el respeto de los límites relativos a los efectos tanto no térmicos como térmicos. Para ello podría procederse a la comparación de los niveles de los campos internos con los VLE pertinentes, aunque lo más común será comparar los niveles de los campos externos con los NA correspondientes.

En las figuras 6.2 y 6.7 se ilustra qué evaluación es precisa dependiendo del intervalo de frecuencias de la fuente (para el cumplimiento, respectivamente, de los NA y los VLE). En muchos casos, solo es pertinente un tipo de efecto (térmico o no térmico) debido a las características de frecuencia de la fuente, aunque en los casos en que la frecuencia se sitúe en el intervalo entre 100 kHz y 10 MHz (ilustrado en rojo en las figuras 6.2 y 6.7), los dos tipos de efectos serán pertinentes y, por lo tanto, habrá que respetar los valores correspondientes a ambos, según se destaca en el cuadro D.8 (relativo a los NA).

Por ejemplo, considérese un entorno en el que se haya visto que la exposición de un trabajador comprende una señal fundamental de 75 kHz e importantes componentes armónicos a 225 kHz, 375 kHz y 525 kHz. Puesto que todas estas frecuencias se hallan por debajo de los 10 MHz, deben incluirse en la evaluación del índice de exposición no térmico relativo a campos eléctricos, a campos magnéticos y, si procede, a corrientes de contacto en todas las frecuencias identificadas del intervalo 1 Hz a 10 MHz. Esto puede incluir contribuciones de las señales de la frecuencia de alimentación (50/60 Hz) y de los armónicos correspondientes. Además, las señales de 225 kHz, 375 kHz y 525 kHz deben incluirse en la evaluación del índice de exposición térmico relativo a este entorno, ya que tales frecuencias están comprendidas dentro del intervalo entre 100 kHz y 300 GHz. Todas las demás frecuencias identificadas en este intervalo deben asimismo incorporarse al cálculo del índice de exposición térmico. El cumplimiento térmico de los NA puede evaluarse haciéndose uso de valores relativos a la intensidad de campo eléctrico o magnético externo, aunque también habrá de elaborarse un índice de exposición a corrientes de contacto, si procede. Todos

los índices de exposición (no térmico, térmico y relativo a corrientes de contacto) deben ser inferiores a la unidad. De no ser así, se impondrán restricciones al trabajador o a la fuente para garantizar el cumplimiento. Es posible que, de no poderse demostrar el cumplimiento de los NA, sí pueda demostrarse el de los VLE, aunque el coste de este método puede ser considerable.

Cuadro D.8. Lista no exhaustiva de ejemplos y requisitos de cumplimiento de los NA asociados sobre la base del intervalo de frecuencias de la fuente. Las abreviaturas y ecuaciones se explican en las subsecciones siguientes

Intervalo de frecuencias de la fuente	Medición requerida	Ecuaciones que se utilizarán	Requisitos de cumplimiento de los NA	Ejemplo de fuente
1 Hz to 100 kHz	B, E, I_c	Ecuación 6 o ecuación 8	$EI_{no\ térmico}^M X \leq 1$ $X = \{B, E, I_c\}$ y $M = \{(1) \text{ or } (2)\}$	Líneas de transporte de energía eléctrica industriales Inducción de partículas magnéticas
100 kHz to 10 MHz	B, E, I_c	Ecuación 6 o ecuación 8 y ecuación 9	Igual que lo anterior, más: $EI_{térmico} X \leq 1$ Para $X = \{B, E, I_c\}$	Sistema de vigilancia de artículos electrónicos, Emisoras de radiodifusión AM, Sistemas de comunicación de líneas eléctricas
10 MHz to 110 MHz	B, E, I_c, I_L	Ecuación 9	$EI_{térmico} X \leq 1$ Para $X = \{B, E, I_c, I_L\}$	Emisoras de radiodifusión FM, Soldadora de plástico
110 MHz to 300 GHz	B, E (si se encuentra en el campo lejano, B o E)	Ecuación 9	$EI_{térmico} X \leq 1$ Para $X = \{B, E\}$ (si se encuentra en el campo lejano $X = \{B \text{ o } E\}$)	Emisoras de comunicaciones móviles, Radares militares

Debe hacerse hincapié en que los efectos no térmicos son instantáneos, mientras que, debido a los procesos termorreguladores del cuerpo, los efectos térmicos dependen de la duración o del factor de servicio de la exposición. Así, para la evaluación de efectos en la salud no térmicos, se emplea la exposición instantánea máxima, mientras que para la evaluación de efectos en la salud térmicos, la Directiva CEM permite que la exposición se promedie a lo largo de un período de seis minutos y a lo largo de un período de $\tau = 68/f^{0.5}$ minutos (donde f se expresa en GHz) para frecuencias inferiores y superiores a 10 GHz, respectivamente. Si la comparación se efectúa con arreglo a la intensidad de campo, la densidad de flujo o los NA de extremidades, el cálculo del promedio temporal se basará en valores al cuadrado.

D.4. Evaluación de la exposición a campos magnéticos estáticos

D.4.1. Introducción

Los principales efectos inducidos por el movimiento de un cuerpo o de partes de este en un campo magnético estático son la estimulación del sistema nervioso periférico (SNP) y efectos sensoriales transitorios como vértigo, náuseas, sabor metálico en la boca y sensaciones visuales como los fosfenos retinianos.

La Directiva CEM establece unos límites sobre los campos magnéticos estáticos relativos a dos tipos de condiciones de trabajo:

- normales (no controladas), y
- controladas, en las que se hayan adoptado medidas de prevención como el control de movimientos y el suministro de información a los trabajadores.

La evaluación del cumplimiento referida al movimiento en campos magnéticos estáticos depende del entorno de trabajo, sea normal o controlado, por lo que podría ser necesario considerar diversos efectos. El proceso se ilustra en el diagrama de flujo de la figura D.24. El cumplimiento en condiciones de trabajo normales garantiza el cumplimiento en condiciones de trabajo controladas. Sin embargo, en entornos de trabajo controlados, solo habrá que demostrar el cumplimiento de los VLE y los NA correspondientes a la estimulación nerviosa periférica.

Los VLE facilitados en el cuadro A1 del anexo II de la Directiva CEM relativos a la densidad de flujo magnético externo se aplican a los campos magnéticos estáticos. El movimiento a través de un gradiente de campo magnético estático induce campos eléctricos de baja frecuencia dentro del cuerpo. En este caso, deben usarse como base para evaluar las exposiciones los VLE facilitados en los cuadros A2 y A3 y los NA del cuadro B2 del anexo II de la Directiva CEM. Se han publicado orientaciones adicionales sobre la limitación de la exposición a los campos eléctricos inducidos por el movimiento a través de campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 2014). Dichas orientaciones se basan en los mejores datos científicos disponibles pero, en el momento de la redacción de la presente guía, no se habían incorporado a la Directiva CEM. Los valores se resumen en el cuadro D.9.

Las orientaciones de la ICNIRP no son vinculantes y hacen uso de una terminología distinta de la de la Directiva CEM. Las restricciones básicas son magnitudes que no deben superarse y son conceptualmente equivalentes a los VLE de la Directiva CEM. Los niveles de referencia son derivaciones conservadoras de las restricciones básicas pero se fijan en magnitudes que son más fáciles de evaluar. Los niveles de referencia son conceptualmente equivalentes a los niveles de actuación empleados en la Directiva CEM.

Cuadro D.9. Restricciones básicas y niveles de referencia para la limitación de la exposición laboral derivada del movimiento en campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 2014)

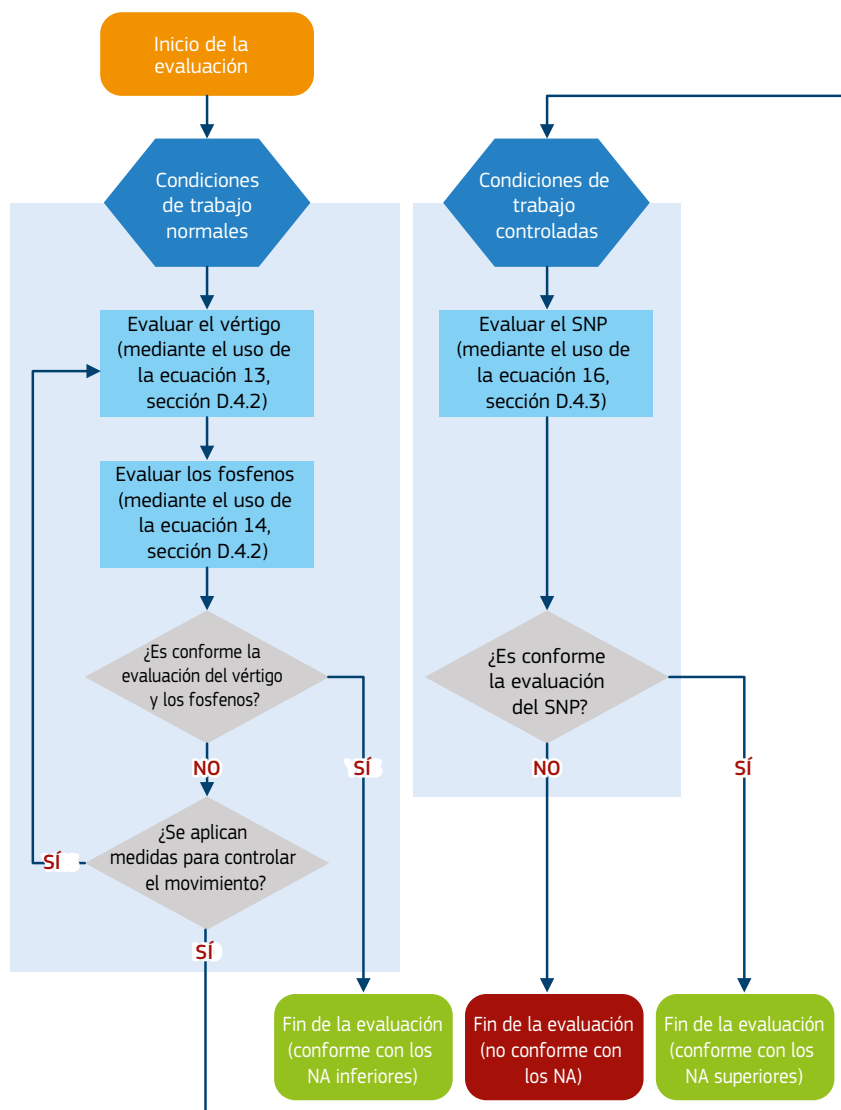
Frecuencia [Hz]	Restricciones básicas Intensidad de campo eléctrico interno (Vm^{-1} (máximo))		Niveles de referencia Derivada temporal de la densidad de flujo magnético (Ts^{-1} (máximo))	
	Efectos sensoriales ¹	Efectos en la salud ²	Efectos sensoriales ¹	Efectos en la salud ²
0-0,66	1,1	1,1	2,7	2,7
0,66-1	0,7/f	1,1	1,8/f	2,7

Nota: 1 — Restricciones impuestas para reducir al mínimo la sensación de fosfenos en condiciones de trabajo normales.

2 — Restricciones impuestas para reducir al mínimo la aparición de efectos en el SNP en condiciones de trabajo controladas.

3 — Para evitar la sensación de vértigo debida al movimiento en un campo magnético, la modificación máxima de la densidad de flujo magnético ΔB a lo largo de un período de tres segundos no debe superar los 2 T. En condiciones de trabajo controladas, este valor puede superarse (ICNIRP, 2014).

Figura D.24. Proceso para la evaluación del cumplimiento en caso de movimiento en campos magnéticos estáticos



D.4.2. Condiciones de trabajo normales

En condiciones de trabajo normales, las restricciones de la exposición derivada del movimiento en campos magnéticos estáticos se basan en efectos sensoriales como vértigo, náuseas y fosfenos. El espectro de los campos inducidos por el movimiento alcanza hasta los 25 Hz y debe tenerse en cuenta al seleccionar los VLE relativos a los efectos sensoriales (anexo II, cuadro A3, de la Directiva CEM) y las restricciones básicas de la ICNIRP (cuadro D.9). En general, será apropiado comparar las exposiciones con los NA inferiores (anexo II, cuadro B2, de la Directiva CEM) y niveles de referencia de la ICNIRP (cuadro D.9).

Reducir al mínimo el efecto del vértigo

La aparición de efectos sensoriales tales como vértigo y náuseas debidos al movimiento en un campo magnético puede reducirse al mínimo desplazándose en dicho campo tan despacio como sea posible. Por lo tanto, para reducir al mínimo la posibilidad de que se produzcan vértigo y náuseas, la modificación de la densidad de flujo magnético ΔB durante un período de tres segundos no debe superar los 2 T:

$$|\Delta B|_{3s} \leq 2 \text{ T} \quad \text{Ecuación 13}$$

Reducir al mínimo los fosfenos

Para reducir al mínimo la sensación de fosfenos, deben emplearse los VLE relativos a efectos sensoriales (anexo II, cuadro A3) y las restricciones básicas (cuadro D.9) relativas a la intensidad de campo eléctrico interno E_r . Puesto que la intensidad de un campo eléctrico interno no puede determinarse fácilmente, suele ser más conveniente evaluar el cumplimiento haciendo uso de los niveles de referencia (cuadro D.9) y la derivada temporal de los NA inferiores (anexo II, cuadro B2).

El campo eléctrico inducido por el movimiento en un campo magnético estático es no sinusoidal y le corresponde un espectro de hasta 25 Hz. Por ello, es necesario tener en cuenta los componentes de frecuencia presentes mediante el uso del método de ponderación de picos (véase el apéndice D.3).

El índice de exposición relativo a dB/dt viene determinado por la siguiente ecuación, que se basa en una función de ponderación dependiente de la frecuencia y relacionada con la fase:

$$EI_{\text{movimiento}}^{\text{fosfenos}} = \text{Máximo} \left\{ \sum_{f=0}^{25 \text{ Hz}} \frac{|A_f|}{RL_f} * \cos(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f) \right\} \quad \text{Ecuación 14}$$

donde $|A_f|$ y θ_f son la amplitud y la fase del componente espectral a una frecuencia f de la derivada temporal de la densidad de flujo magnético dB/dt y RL_f es el nivel de referencia relativo a los efectos sensoriales a dicha frecuencia. La fase φ_f (el denominado ángulo de fase del filtro) es una función de la dependencia de la frecuencia de RL_f y tiene los valores de 90° , 180° y 90° en los intervalos de frecuencia 0-0,66 Hz, 0,66-8 Hz y 8-25 Hz, respectivamente, siendo la dependencia de la frecuencia de RL_f de f^0 , $1/f$ y f^0 . Los valores de fase de la función de filtro para dB/dt se definen en el apéndice de las directrices de la ICNIRP 2010 (ICNIRP, 2010) y se explican en el apéndice D.3.

Al aplicar la ecuación anterior para calcular el índice de exposición de dB/dt , debe prestarse atención al hecho de que los niveles de referencia de dB/dt máximo solo se facilitan por debajo de 1 Hz. Por encima de 1 Hz, se indican NA (anexo II, cuadro B2) en forma de valores cuadráticos medios (RMS) de densidad de flujo magnético, pero no como derivadas temporales. Es posible, no obstante, usar tales NA para calcular el valor de RL_f equivalente para dB/dt máximo por encima de 1 Hz:

$$\left(\frac{dB}{dt} \right)_{RL, \text{Máximo}} = 2 \sqrt{2\pi f B_{NA \text{ inferior, rms}}} \quad \text{Ecuación 15}$$

donde $B_{NA \text{ inferior, rms}}$ es el valor cuadrático medio del NA inferior relativo a la densidad de flujo magnético a la frecuencia f y $\left(\frac{dB}{dt} \right)_{RL, \text{Máximo}}$ es el valor RL_f convertido para dB/dt máximo a dicha frecuencia.

D.4.3. Condiciones de trabajo controladas

Como se ha indicado anteriormente en la sección D.4.2, el campo eléctrico inducido incluye componentes con frecuencias de hasta 25 Hz y ello ha de tenerse en cuenta al seleccionar los VLE relativos a efectos en la salud adecuados (anexo II, cuadro A2) y las restricciones básicas (cuadro D.9). De nuevo, será generalmente más adecuado comparar las exposiciones con los NA superiores (anexo II, cuadro B2) y los niveles de referencia relativos a los efectos en la salud (cuadro D.9).

Evitar la estimulación nerviosa periférica

Para evitar la estimulación nerviosa, tanto la restricción básica de la ICNIRP como el VLE relacionado con efectos en la salud limitan la intensidad de campo eléctrico interno E_i a $1,1 \text{ Vm}^{-1}$. Los niveles de referencia de la ICNIRP y la derivada temporal de los NA superiores correspondientes tienen un valor de $2,7 \text{ Ts}^{-1}$. Puesto que tanto el nivel de referencia como la derivada temporal de los NA superiores son constantes a lo largo del intervalo de frecuencias en cuestión, el índice de exposición se obtendrá sumando los componentes espectrales a frecuencias de hasta 25 Hz sin ponderación espectral de la amplitud (la fase de filtro se establece en un valor cero para todos los componentes espectrales), pero se tienen en cuenta las fases de los componentes espectrales de dB/dt :

$$EI_{\text{movimiento}}^{SNP} = \frac{1}{2,7} * \text{Máximo} \left\{ \sum_{f=0}^{25 \text{ Hz}} |A_f| * \cos(2\pi f t + \theta_f) \right\} \quad \text{Ecuación 16}$$

donde $|A_f|$ y θ_f son la amplitud y la fase del componente espectral de dB/dt a la frecuencia f . La expresión entre paréntesis en la ecuación 16 equivale a tomar el valor absoluto de la forma de onda dB/dt (de modo que todos los valores de dB/dt sean positivos). El índice de exposición viene determinado, a continuación, por el valor máximo de esta forma de onda dividido por $2,7 \text{ Ts}^{-1}$.

D.5. Consideraciones sobre incertidumbre

El propósito de una medición o de un cálculo consiste en determinar el «valor verdadero» ⁽¹⁾ de la magnitud objeto de estudio y cualquier desviación es atribuible a la incertidumbre.

La Directiva exige a los empresarios que tengan en cuenta la incertidumbre y la registren en el marco de la evaluación de la exposición global. En el artículo 4 se dispone que «la evaluación tendrá en cuenta las incertidumbres relativas a las mediciones o cálculos, como los errores numéricos, la modelización de fuentes, la geometría espectral y las propiedades eléctricas de tejidos y materiales determinadas con arreglo a las buenas prácticas correspondientes».

Una de las principales dificultades a las que se enfrenta un empresario al llevar a cabo una evaluación del cumplimiento consiste en demostrar la precisión de las mediciones y/o de los cálculos en relación con los NA y los VLE de la Directiva. Identificar las fuentes de incertidumbre, cuantificar su influencia y demostrar que esta influencia se halla dentro de unos límites aceptables ofrece los medios para obtener dicha garantía.

Normas internacionales tales como la Guía ISO/IEC 98-3:2008 representan una buena fuente de asesoramiento práctico en lo tocante a la incertidumbre en la medición, mientras que el Cenelec y otros organismos de normalización han publicado normas

⁽¹⁾ El propio valor verdadero conlleva una incertidumbre asociada, ya que se trata de una estimación basada en los conocimientos y datos disponibles actualmente.

que describen diversas opciones de buenas prácticas para tratar la incertidumbre al comparar las magnitudes de exposición con los valores límite (véase el apéndice H).

En el caso ideal, la incertidumbre global debe ser pequeña en relación con la diferencia entre el valor medido y/o calculado y el NA o el VLE. Si la incertidumbre es muy grande, es probable que se resienta la confianza en la evaluación del cumplimiento o incumplimiento de un valor de exposición con respecto a un límite y podría ser deseable repetir la evaluación haciendo uso de unos métodos y/o unos instrumentos más precisos que reduzcan la incertidumbre.

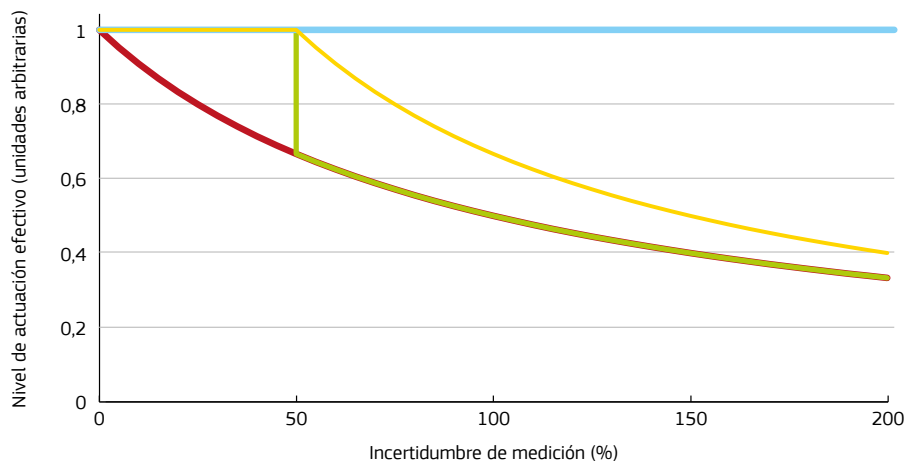
Se reconocen dos planteamientos generales a la hora de tratar la incertidumbre en una evaluación del cumplimiento, cada uno de ellos con virtudes y defectos relativos. El primer planteamiento consiste en la comparación directa o método del «riesgo compartido», en el que el valor medido o calculado se compara directamente con los NA o los VLE. El segundo planteamiento es el método aditivo, en el que la incertidumbre se suma al valor medido o calculado antes de compararlo con el NA o el VLE adecuado. Aunque los dos entrañan una evaluación concienzuda de la incertidumbre, el segundo, por su propia naturaleza, representa un planteamiento más transparente.

Pueden utilizarse combinaciones diferentes de estos dos planteamientos y la selección de uno concreto dependerá de factores tales como el uso y la práctica nacionales o las circunstancias de exposición. El efecto de los distintos planteamientos se ilustra en la figura D.25. Puede estar justificado adoptar planteamientos distintos en caso de que la incertidumbre no sea excesivamente grande, sobre la base de que los NA y los VLE se desprenden de restricciones que incluyen factores de reducción para garantizar que exista un margen de «seguridad» suficiente para evitar efectos sensoriales y en la salud.

D.5.1. Incertidumbres relativas a las mediciones

La incertidumbre de cualquier régimen de medición suele desprenderse de una combinación de factores, entre los que se incluyen el *error sistemático* relativo a las características del instrumento de medida y el *error aleatorio*, que puede derivarse del modo en que se ha efectuado la medición. Es importante reconocer la posibilidad de identificar las fuentes de error potenciales y poder cuantificar la incertidumbre máxima asociada a cada una de ellas. En general, las estimaciones cuantitativas de la incertidumbre se efectúan de dos maneras. Pueden derivarse de una evaluación estadística de lecturas reiteradas (lo que se conoce como evaluación de tipo A) o pueden calcularse mediante el recurso a otra información diversa, como la experiencia en el pasado, certificados de calibrado, especificaciones del fabricante, información publicada o el sentido común (lo que se conoce como evaluación de tipo B).

Figura D.25. Comparación de distintos planteamientos de tratar la incertidumbre. La línea azul ilustra el efecto de ignorar la incertidumbre. La línea roja ilustra el efecto de aplicar el planteamiento aditivo. La línea verde ilustra un ejemplo de planteamiento de «riesgo compartido»: en este caso, el valor medido se compara directamente si la incertidumbre es inferior al 50 %; de superarse este valor, el planteamiento pasa a ser aditivo. La línea amarilla ilustra un planteamiento alternativo de «riesgo compartido»: cuando la incertidumbre supera el 50 %, comienza a aplicarse un planteamiento aditivo desde ese punto



Una vez se han identificado todas las fuentes de error individuales y cuantificado las incertidumbres resultantes, puede calcularse el efecto acumulativo siguiendo las normas establecidas que rigen la «propagación de la incertidumbre». Ello permitirá estimar la incertidumbre global asociada a una medición, que puede expresarse como un «intervalo de confianza». El porcentaje de confianza asociado al intervalo de confianza se obtiene aplicando un factor de cobertura, k , que se relaciona con una curva de probabilidad de campana. Un $k = 1$ corresponde a una confianza del 68 %, un $k = 2$ al 95 % y un $k = 3$ al 99,7 %.

La evaluación de la incertidumbre de medición puede ser complicada en muchos lugares de trabajo y no hay un único planteamiento que pueda aplicarse a todas las situaciones. Sí hay, sin embargo, diversas buenas prácticas comúnmente reconocidas, tales como usar instrumentos con un índice de incertidumbre de medición bajo y garantizar la trazabilidad de las calibraciones del instrumental (lo que reduce el error sistemático). La aplicación de técnicas de medición adecuadas, como la repetición o la obtención de promedios en la medición, puede emplearse para reducir el error aleatorio.

En múltiples normas sobre productos del Cenelec suele adoptarse un planteamiento híbrido con arreglo al cual una medición puede compararse directamente con los valores límite, siempre que no se supere un nivel máximo de incertidumbre. De superarse el nivel máximo, la incertidumbre se incorporará directamente a las mediciones o a los valores límite al objeto de incrementar el rigor de los criterios de cumplimiento y compensar el exceso de incertidumbre.

En general, los valores de incertidumbre máximos permitidos en las mediciones de campos electromagnéticos son del mismo orden de magnitud que los valores de exactitud y precisión que pueden conseguirse con los tipos de equipos de medición y los procedimientos de calibrado empleados comúnmente.

Las normas técnicas constituyen unas fuentes de información útiles sobre la combinación de distintos elementos de incertidumbre con el fin de elaborar una estimación general. Los presupuestos de incertidumbre pueden ser una herramienta útil a la hora de evaluar la incertidumbre de la exposición a campos electromagnéticos y se

tratan en diversas normas de productos referidas a campos electromagnéticos. Puede consultarse un buen ejemplo de ello en la norma EN 50413, una norma de medición que puede utilizarse por defecto en situaciones en las que no se dispone de una norma referida a una tecnología o un sector industrial específico.

Ha de procurarse, al aplicar un intervalo de incertidumbre permitido, garantizar que la exposición de un trabajador no supere los NA o los VLE de la Directiva. Tal como se indica en el artículo 5 de la Directiva, «la exposición de los trabajadores no deberá superar los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales, a menos que se cumplan las condiciones establecidas en el artículo 10, apartado 1, letras a) o c), o en el artículo 3, apartados 3 o 4. Si, a pesar de las medidas adoptadas por el empresario, se superan los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales, el empresario intervendrá con carácter inmediato para reducir la exposición a niveles inferiores a dichos valores límite.»

D.5.2. Incertidumbres relativas a los cálculos de la exposición

En lo tocante a los cálculos de la exposición interna y externa, las fuentes de errores numéricos pueden ser numerosas si los modelos no se ajustan de manera adecuada. Por consiguiente, es importante investigar la incertidumbre asociada a la dosimetría. Las diversas fuentes de incertidumbre pueden agruparse en tres categorías, que se describen en las secciones siguientes.

D.5.2.1. Incertidumbres relativas a los métodos numéricos

A modo de ejemplo, cabría citar los errores asociados al cálculo de una magnitud dosimétrica interna, como la SAR. El valor de la SAR exige un cálculo correcto del campo eléctrico dentro del cuerpo, tanto en lo que concierne al valor como en lo que se refiere a la distribución de la SAR. Si es preciso promediar un valor espacial máximo para una masa concreta, como 10 g de tejido contiguo, según se especifica en el anexo III de la Directiva, se introducirán errores si la SAR se evalúa, por ejemplo, para un cubo. Si las condiciones límite para la simulación numérica se establecen de manera incorrecta, se introducirán errores en la solución a través de la reflexión por artefactos del campo magnético en el ámbito del cálculo. Además, una discretización de la solución, por ejemplo la representación de la situación de exposición en cubos, puede dar lugar a errores escalonados que pueden causar importantes problemas en los cálculos relativos a bajas frecuencias.

D.5.2.2. Incertidumbres relativas al modelo de dispositivo electromagnético

Para simular una situación de exposición, debe crearse un modelo representativo del dispositivo que genera el campo electromagnético. En estos casos, pueden introducirse errores en la solución si las dimensiones, la posición, la potencia de salida, las características de emisión, etc., del aparato están caracterizadas de manera deficiente. La posición del dispositivo reviste especial importancia si la fuente del campo está próxima al cuerpo, ya que el campo generado por la mayoría de dispositivos se reduce rápidamente con el aumento de la distancia.

D.5.2.3. Incertidumbres relativas al modelo de cuerpo humano

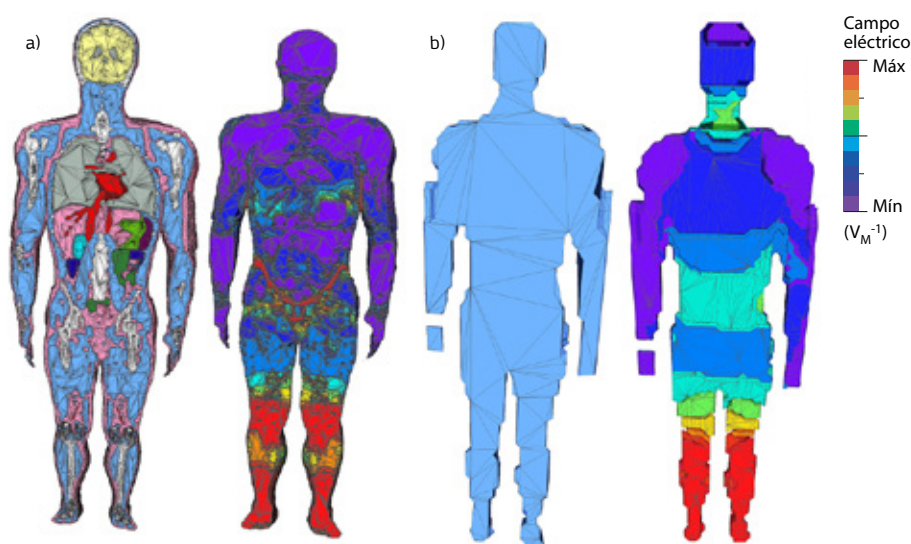
Si el modelo de cuerpo humano no es representativo del trabajador expuesto en cuanto a la anatomía, la postura, etc., podrán introducirse errores en los resultados. Por ejemplo, un modelo sencillo y homogéneo del cuerpo puede producir unos valores sustancialmente distintos de las magnitudes dosimétricas internas, tales como los campos eléctricos inducidos y las SAR, al compararse con los cálculos efectuados con modelos heterogéneos anatómicamente realistas. Además, estos modelos humanos

simples pueden producir fenómenos artificiales como la aparición de una SAR localizada máxima o campos eléctricos inducidos a gran profundidad en el cuerpo, al utilizarse en simulaciones numéricas (figura D.26).

Entre las prácticas recomendadas para mitigar la generación de inexactitudes en el cálculo de las magnitudes dosimétricas se incluyen las siguientes:

- comparaciones de resultados obtenidos mediante el uso de otros métodos numéricos para la misma situación de exposición. Si se obtienen resultados similares, ello puede validar la simulación numérica empleada para una configuración de exposición concreta;
- comparaciones de resultados numéricos con mediciones. Las simulaciones de magnitudes de campos externos como las intensidades de campos eléctricos y magnéticos deben compararse con valores medidos si se dispone de ellos para validar el modelo de la fuente de campo electromagnético;
- comparaciones de resultados de distintas organizaciones (comparaciones entre laboratorios). Las comparaciones de resultados numéricos con otros datos publicados en relación con una configuración de exposición igual o similar pueden otorgar a los asesores un mayor grado de confianza en la validez de los resultados obtenidos;
- ensayos de convergencia. Los métodos numéricos empleados para calcular magnitudes dosimétricas internas dentro del cuerpo son, a menudo, de índole reiterativa (por ejemplo, método FDTD, método SPFD, FEM, etc.) y, por lo tanto, suelen converger en una solución. Si la convergencia y la estabilidad de una solución son deficientes, es muy probable que los resultados obtenidos a partir de la simulación sean inexactos.

Figura D.26. Distribución del campo eléctrico inducido a partir de la exposición a un campo eléctrico externo de 50 Hz en a) un modelo humano heterogéneo de alta calidad con una resolución de 2 mm y b) un modelo humano homogéneo de baja calidad con una resolución de 16 mm. El uso de modelos humanos homogéneos de calidad y resolución bajas puede introducir errores en los valores calculados



Mensaje clave: incertidumbre

Todas las mediciones y los cálculos están sujetos a incertidumbres y estas deben cuantificarse siempre y tenerse en cuenta al interpretar los resultados. El planteamiento de gestión de la incertidumbre variará en función de la legislación y las prácticas nacionales. A menudo, entrañará la aplicación de un planteamiento de «riesgo compartido», aunque ciertas autoridades pueden exigir el uso del planteamiento aditivo.

APÉNDICE E.

EFFECTOS INDIRECTOS Y TRABAJADORES CON RIESGOS PARTICULARES

La Directiva CEM exige a los empresarios que tengan en cuenta tanto los efectos indirectos como los trabajadores con riesgos particulares al llevar a cabo evaluaciones de riesgos. Sin embargo, con las tres excepciones enumeradas en el cuadro E.1 más abajo (véase la sección 6.2 para obtener información adicional), no indica niveles de actuación (NA) ni ninguna otra orientación acerca de qué constituye una condición de campo segura. El presente apéndice ofrece una explicación adicional acerca de las dificultades que entraña la definición de unas condiciones de campo seguras y ofrece orientación a los empresarios que necesitan evaluar riesgos relativos a estas situaciones.

Cuadro E. Referencia cruzada de los NA relativos a efectos indirectos con otros datos de la presente guía

NA relativos a efectos indirectos	Sección
Interferencia de campos magnéticos estáticos con dispositivos médicos implantados activos	6.2.1
Riesgo de atracción y proyección en campos magnéticos estáticos	6.2.1
Corrientes de contacto derivadas de campos variables en el tiempo < 110 MHz	6.2.2

E.1. Efectos indirectos

Se producen efectos indirectos cuando un objeto presente en un campo electromagnético se convierte en la causa de un peligro para la seguridad o para la salud. La Directiva CEM identifica cinco efectos indirectos que deben considerarse en cualquier evaluación de riesgos:

- interferencia con equipos y dispositivos electrónicos médicos;
- riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos;
- activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores);
- ignición de ambientes inflamables;
- corrientes de contacto.

También debe tenerse en cuenta cualquier otro efecto indirecto que pueda producirse (véase la sección E.1.6).

En general, los efectos indirectos solo se producen en condiciones específicas y, a menudo, será sencillo determinar que tales condiciones no existen en un lugar de trabajo concreto, lo que significa que el riesgo ya es mínimo. Sin embargo, en ocasiones no será así, y en tales situaciones será necesario realizar una evaluación más detallada.

E.1.1. Interferencia con equipos y dispositivos electrónicos médicos

Los CEM pueden interferir con el correcto funcionamiento de aparatos electrónicos médicos, del mismo modo que pueden causar interferencias con cualquier otro equipo electrónico. Sin embargo, toda vez que tal equipo puede desempeñar una función vital en un tratamiento médico, las consecuencias de la interferencia pueden ser graves.

Desde el 30 de junio de 2001, todos los aparatos electrónicos médicos comercializados en la Unión Europea tienen que cumplir los *requisitos esenciales* de la Directiva sobre los productos sanitarios (93/42/CEE, modificada). En realidad, buena parte de los equipos puestos en servicio a partir del 1 de enero de 1995 también cumple la Directiva sobre los productos sanitarios.

Estos requisitos esenciales comprenden la condición de que los productos deberán diseñarse y fabricarse de forma que se eliminen o se reduzcan al mínimo los riesgos vinculados a las condiciones ambientales razonablemente previsibles, como los campos magnéticos, influencias eléctricas externas o descargas electrostáticas.

En la práctica, los fabricantes logran el cumplimiento de los requisitos básicos de la Directiva sobre los productos sanitarios fabricando sus productos con arreglo a una norma armonizada adecuada. En relación con la inmunidad frente a las interferencias, la norma principal es la EN 60601-1-2, aunque también pueden aplicarse requisitos correspondientes a normas específicas. Aunque los requisitos esenciales sobre la inmunidad frente a los CEM son idénticos en la Directiva sobre los productos sanitarios y en la Directiva sobre los productos sanitarios implantables activos (véase *infra*), no ha sido así su interpretación en las normas armonizadas. Las versiones de EN 60601-1-2 hasta la tercera edición (2007), inclusive, exigían que las funciones esenciales de los equipos no se vieran comprometidas por la exposición a:

- campos magnéticos de frecuencia de alimentación de hasta 3 A/m (3.8 μ T)
- intensidades de campo eléctrico de hasta 3 V/m a frecuencias de entre 80 MHz y 2,5 GHz (los campos suelen ser de amplitud modulada a 1 kHz);
- en el caso de los equipos de asistencia vital, la inmunidad frente la intensidad de campos eléctricos de entre 80 MHz y 2,5 GHz se incrementa a 10 V/m.

Estos valores ofrecen una base a partir de la cual evaluar el potencial de interferencia con equipos y aparatos electrónicos médicos.

La cuarta edición (2014) de la norma EN 60601-1-2 se refiere a la cuestión de la coherencia entre la Directiva sobre los productos sanitarios y la Directiva sobre los productos sanitarios implantables activos. Exige que el fabricante indique los entornos de uso adecuados e incremente los niveles de inmunidad de los aparatos destinados al ámbito de la atención sanitaria a domicilio.

La norma también admite que lograr tales niveles de inmunidad puede ser complicado en el caso de los equipos diseñados para el control de parámetros fisiológicos. Por lo tanto, permite una inmunidad menor para estos equipos, ante la expectativa de que se usen en entornos de baja exposición a campos.

E.1.2. Riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos

En campos magnéticos estáticos intensos, los objetos ferromagnéticos pueden experimentar intensas fuerzas de atracción que pueden llegar a desplazarlos. En las circunstancias adecuadas, este movimiento puede constituir un riesgo de proyección.

El riesgo del movimiento depende de una serie de factores, incluidos el gradiente del campo magnético, la masa y la forma del objeto y el material del que está fabricado.

La Directiva CEM especifica un NA de 3 mT para evitar el riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en el campo marginal de fuentes magnéticas estáticas intensas (> 100 mT).

E.1.3. Activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores)

Está demostrado que, en las circunstancias adecuadas, los CEM pueden causar la activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores). Este efecto depende de la presencia en el lugar de trabajo tanto de los dispositivos electro-explosivos como de unos campos de intensidad suficiente como para activarlos. Por ende, es improbable que constituya un problema en la mayoría de los lugares de trabajo, aunque ciertos empresarios, por ejemplo del ámbito de la defensa, tienen que tenerlo en cuenta.

Puesto que los dispositivos electro-explosivos pueden representar un riesgo incluso en ausencia de CEM intensos, su almacenamiento y uso suele estar estrictamente controlado, con restricciones en las actividades que pueden llevarse a cabo en las proximidades, incluida la generación de CEM.

Existe un informe técnico europeo (CLC/TR 50426) que ofrece orientación sobre las evaluaciones de riesgo de activación de dispositivos de puente explosivo con filamento metálico. En el informe se exponen métodos para evaluar el riesgo de que pueda extraerse del campo una cantidad suficiente de energía que cause la activación.

Otro informe técnico europeo que puede ser útil es el CLC/TR 50404, que ofrece orientación sobre la evaluación de riesgos y las medidas para evitar la activación de materiales explosivos por la electricidad estática.

E.1.4. Incendios y explosiones derivados de la ignición de ambientes inflamables

Está demostrado que la interacción de campos electromagnéticos con objetos puede dar lugar a la generación de descargas de chispas capaces de provocar la ignición de ambientes inflamables. Puesto que este efecto requiere la presencia tanto de un ambiente inflamable como de campos de intensidad suficiente como para provocar su ignición, es improbable que constituya un problema en la mayoría de los lugares de trabajo, aunque es posible que ciertos empresarios tengan que tenerlo en cuenta.

Los ambientes inflamables pueden estar sujetos a un riesgo de ignición derivado de diversas fuentes, por lo que el planteamiento normal consistirá en identificar las zonas en que puedan existir tales ambientes. Estas restricciones suelen incluir limitaciones relativas a la generación de CEM en la zona.

Existe un informe técnico europeo (CLC/TR 50427) que ofrece orientación sobre las evaluaciones del riesgo de ignición inadvertida de ambientes inflamables por CEM de radiofrecuencia. En el informe se exponen métodos para evaluar la energía que puede extraerse del campo y compararla con la necesaria para provocar la ignición de distintas clases de materiales inflamables.

Otro informe técnico que puede ser útil es el CLC/TR 50404, que ofrece orientación sobre la evaluación de riesgos y las medidas para evitar la ignición de ambientes inflamables por causa de la electricidad estática.

E.1.5. Corrientes de contacto

El contacto entre una persona y un objeto conductor en un campo electromagnético en el que uno de ellos mantiene contacto con tierra y el otro no, puede dar lugar al flujo de una corriente hacia tierra a través del punto de contacto. Ello podrá producir choques eléctricos o quemaduras.

La Directiva CEM especifica los NA relativos a las corrientes de contacto que están destinados a evitar que se produzcan choques dolorosos. Es posible que la persona que toca el objeto pueda percibir la interacción incluso si las corrientes de contacto son inferiores a los NA establecidos. Aunque ello no será dañino, sí puede ser molesto y es posible reducir al mínimo este efecto siguiendo la recomendación dada en el apartado 9.4.8.

E.1.6. Efectos indirectos no especificados

También se deben considerar cualesquiera otros efectos indirectos que puedan producirse. Entre las interacciones que cabe considerar se incluyen las siguientes:

- interacción de campos con apantallamiento o estructuras metálicas en el entorno de trabajo que dé lugar a calentamiento y peligros térmicos;
- interacción de campos con dispositivos electrónicos y sistemas de control en el lugar de trabajo que dé lugar a interferencias y funcionamientos defectuosos;
- interacción de campos con artículos o componentes metálicos que se lleven en el cuerpo o próximos a este;
- interacción de campos con componentes o equipos electrónicos que se lleven en el cuerpo o próximos a este.

E.2. Trabajadores con riesgos particulares

La Directiva CEM identifica cuatro grupos de trabajadores que pueden verse con riesgos particulares derivados de la exposición a CEM en el lugar de trabajo:

- trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos (DMIA);
- trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados pasivos;
- trabajadores que llevan en el cuerpo dispositivos médicos;
- trabajadoras embarazadas.

Los empresarios también deben ser conscientes de la posibilidad de que existan riesgos concretos para grupos de trabajadores no especificados aún (véase el apartado E2.5).

Estos trabajadores podrían no estar adecuadamente protegidos por los NA y los VLE especificados en la Directiva. En caso de que los empresarios identifiquen la posible existencia de riesgos para tales grupos de trabajadores, se ofrecerá información mediante actividades de formación inicial del personal e información destinada a visitantes. Dicha información incluirá la recomendación de que los trabajadores afectados se identifiquen ante la dirección, de manera que pueda llevarse a cabo una evaluación de riesgos específica.

E.2.1. Trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados activos

E.2.1.1. Antecedentes

Existen múltiples dispositivos activos que pueden implantarse en pacientes con fines médicos. Entre estos cabe incluir:

- marcapasos,
- desfibriladores,
- implantes cocleares,
- implantes de tronco encefálico,
- prótesis del oído interno,
- neuroestimuladores,
- bombas de infusión de medicamentos,
- codificadores retinianos.

En general, los dispositivos que tienen hilos conductores para conectarse al paciente con fines sensoriales o de estimulación serán más sensibles a las interferencias que los que no los tienen. Ello se debe a que los hilos forman un bucle que puede acoplarse al campo electromagnético. Incluso entre los dispositivos con hilos conductores, la sensibilidad puede variar dependiendo de la función y la configuración. Los dispositivos diseñados para percibir señales neurofisiológicas dentro del cuerpo serán los más propensos a sufrir interferencias, ya que están diseñados para ser sensibles a pequeños cambios en la tensión de los hilos. Tales cambios de tensión pueden generar la interacción con campos, aunque la magnitud de la tensión inducida dependerá de la longitud, el tipo y la posición de los hilos dentro del cuerpo. En general, los dispositivos con un único hilo que puede formar un gran bucle efectivo se acoplarán intensamente al campo, mientras que los dispositivos bipolares serán, por lo general, menos sensibles, ya que forman bucles efectivos mucho menores.

Los marcapasos suelen incorporar un conmutador rojo (un tipo de conmutador magnético) que pueden activar los campos magnéticos para cambiar el modo de funcionamiento del aparato de «demanda» a «marcapasos». Ciertos dispositivos médicos implantados activos están diseñados para percibir señales de radiofrecuencia o señales inductivamente acopladas con fines de programación, mientras que otros, como los implantes cocleares, pueden utilizar el acoplamiento inductivo como parte del funcionamiento normal. Todos estos dispositivos están diseñados para ser sensibles a campos externos y, consiguientemente, serán propensos a sufrir interferencias en presencia de campos específicos.

Desde el 1 de enero de 1995, todos los productos sanitarios implantables activos comercializados en la Unión Europea tienen que cumplir los *requisitos esenciales* de la Directiva sobre los productos sanitarios implantables activos (90/385/CEE, modificada). Estos requisitos esenciales comprenden la condición de que los productos deben diseñarse y fabricarse de forma que se eliminen o se reduzcan al mínimo los riesgos vinculados a las condiciones del medio ambiente razonablemente previsibles, como los campos magnéticos, influencias eléctricas externas o descargas electrostáticas.

En la práctica, los fabricantes logran el cumplimiento de los requisitos básicos de la Directiva sobre los productos sanitarios fabricando sus productos con arreglo a una norma armonizada adecuada. Entre las normas armonizadas pertinentes se incluyen la EN 45502-1 y la serie EN 45502-2-X de normas específicas. Los requisitos de inmunidad de tales normas se derivan de los niveles de referencia especificados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo, aunque excluyen cualquier promedio temporal referido a campos de radiofrecuencia y se basan en el supuesto de que el dispositivo se ha implantado con arreglo a buenas prácticas médicas.

E.2.1.2. Orientación sobre la evaluación

Planteamiento básico

El **primer paso** consiste en considerar qué equipos y actividades están presentes en el lugar de trabajo y si se tiene constancia de que algún trabajador lleve dispositivos médicos implantados activos (DMIA). Cabe señalar que no todos los empleados declaran llevar tales dispositivos implantados e incluso hay indicios que apuntan a que hasta un 50 % de estos empleados puede negarse a revelar dicha información por miedo a que ello pueda tener repercusiones en su empleo. El empresario deberá tener en cuenta esta reticencia a la hora de solicitar información.

Si solo hay presentes equipos y actividades enumerados en la columna 1 del cuadro 3.2, no será necesario, por lo general, emprender medidas adicionales a menos que se identifique a un trabajador que lleve un DMIA (véase *infra*).

Si no es posible identificar a trabajadores que lleven DMIA, no será necesario emprender medidas adicionales, aunque los empresarios tendrán que permanecer atentos ante la posibilidad de que nuevos trabajadores o visitantes puedan llevarlos o de que se los implanten a trabajadores de la plantilla.

En caso de que se identifiquen trabajadores con DMIA, el empresario deberá recabar toda la información posible acerca del dispositivo o los dispositivos. El trabajador cooperará en este proceso y, donde proceda, se solicitará la asistencia de un facultativo especializado en medicina del trabajo y/o del profesional responsable de la atención del trabajador.

Si el trabajador lleva un aparato antiguo o se le ha advertido específicamente de que su DMIA está configurado de tal modo que será excepcionalmente sensible, será necesario llevar a cabo una evaluación específica. Esta se basará en las características conocidas del dispositivo.

En la mayoría de las demás situaciones debería ser posible llevar a cabo una evaluación general, como se indica a continuación. Si esta indica que las actividades laborales normales del trabajador pueden generar una situación de peligro, la solución más sencilla consistirá en ajustar la configuración del puesto o las actividades de trabajo. Si ello es complicado, el empresario podría considerar la posibilidad de realizar una evaluación específica.

Implantes activos antiguos

Los implantes activos antiguos, anteriores al 1 de enero de 1995, pueden no gozar del mismo nivel de inmunidad frente a CEM que los aparatos modernos. No está claro cuántos de tales aparatos siguen en funcionamiento. Las baterías que alimentan los DMIA tienen un ciclo de vida limitado y, junto a las baterías, pueden haberse sustituido el aparato entero o partes de él. Por ejemplo, es práctica habitual en el caso de los marcapasos sustituir íntegramente el generador de impulsos, junto a las baterías, aunque normalmente se dejan en su lugar otros elementos tales como los hilos conductores. Los marcapasos siguen representando la mayoría de los implantes y ello, desde luego, era así antes de 1995. No era probable que estos marcapasos antiguos se vieran afectados por campos magnéticos estáticos inferiores a 0,5 mT, campos eléctricos de baja frecuencia inferiores a 2 kV/m y campos magnéticos de baja frecuencia inferiores a 20 μ T.

Advertencias específicas

Todos los pacientes con implantes activos reciben advertencias generales para que eviten situaciones que puedan dar lugar a interferencias. Estas advertencias deben seguirse, aunque no afectan la evaluación de riesgos derivada del planteamiento de evaluación expuesto a continuación. No obstante, en ocasiones existen razones médicas para implantar el DMIA con una configuración no convencional o para recurrir a unos ajustes no convencionales y ello puede dar lugar a que se formulen advertencias

específicas. Estas pueden relacionarse asimismo con la situación clínica del paciente. En caso de que se hayan recibido advertencias específicas, será necesario llevar a cabo una evaluación específica.

Evaluación general

El planteamiento de la evaluación general se atiene al establecido en la norma EN 50527-1 y se basa en los requisitos de inmunidad de las normas armonizadas sobre implantes activos. De este modo, no deben producirse interferencias en tanto los campos, salvo los campos magnéticos estáticos, no superen los valores instantáneos de los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Los implantes activos tampoco deben verse influidos por los campos magnéticos estáticos inferiores a 0,5 mT.

Evaluación específica

En ciertas situaciones podría ser necesario llevar a cabo una evaluación específica. Es probable que esto sea necesario si:

- los trabajadores llevan implantes activos antiguos (véase *supra*);
- los trabajadores han recibido advertencias especiales;
- es difícil adaptar la configuración del puesto o la actividad de trabajo para garantizar que la exposición no supere los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

Se facilita información adicional en el anexo A de la norma EN 50527 1. También se facilitan orientaciones adicionales en el documento de la Asociación Alemana del Seguro Social frente Accidentes BGI/GUV-I 5111.

E.2.2. Trabajadores que llevan dispositivos médicos implantados pasivos

Diversos implantes sanitarios pueden ser metálicos. Entre ellos cabe incluir articulaciones artificiales, clavos, placas, tornillos, grapas quirúrgicas, muelles para aneurismas, endoprótesis (*stents*), prótesis de válvulas cardíacas, anillos de anuloplastia, implantes anticonceptivos metálicos, carcasas de dispositivos médicos implantados activos y empastes dentales.

Si estos dispositivos están hechos de materiales ferromagnéticos, pueden experimentar momentos de torsión y fuerzas en presencia de campos magnéticos estáticos intensos. Hay pruebas que apuntan a que las densidades de flujo magnéticos estáticos de 0,5 mT o inferiores no ejercerán un influjo suficiente como para constituir un peligro para la salud (ICNIRP, 2009). Ello es coherente con el NA especificado en la Directiva CEM para evitar las interferencias con implantes activos en campos magnéticos estáticos.

En campos variables en el tiempo, los implantes metálicos pueden perturbar el campo eléctrico inducido dentro del cuerpo y causar campos intensos en zonas localizadas. Además, los implantes metálicos pueden calentarse por inducción, lo que daría lugar al calentamiento y a la lesión térmica consiguiente de los tejidos circundantes. En último extremo, esto podría averiar el implante.

Se cuenta con pocos datos sobre los que basar una evaluación del riesgo al que se exponen las personas que llevan implantes pasivos. Un factor que hay que tener en cuenta es la frecuencia del CEM, ya que la penetración del campo en el cuerpo disminuye con el aumento de la frecuencia, de manera que podría producirse una interacción escasa o nula entre los campos de alta frecuencia y la mayoría de los implantes, que están rodeados por una masa de tejido.

El que un calentamiento inductivo sea suficiente para causar una lesión térmica en los tejidos circundantes dependerá de la extracción de energía suficiente del campo. Ello

se verá influido por las dimensiones y la masa del implante, así como por la intensidad y la frecuencia del campo accesible. No obstante, el cumplimiento de lo dispuesto en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo debería ofrecer una protección adecuada, en tanto que la presencia de campos de mayor intensidad puede estar justificada en ciertas circunstancias.

E.2.3. Trabajadores que llevan en el cuerpo dispositivos médicos

Los dispositivos médicos corporales corresponden al ámbito de aplicación de la Directiva sobre los productos sanitarios (93/42/CEE, modificada). Por ello, en ausencia de información más concreta, las consideraciones en materia de evaluación son las mismas que se aplican a las interferencias con otros equipos electrónicos médicos tratadas en la sección E.1.1.

Sin embargo, en general, no es de prever que los dispositivos médicos corporales sean más sensibles que los implantes activos y los dispositivos que no están diseñados para percibir parámetros fisiológicos pueden ser menos sensibles que algunos implantes activos. Por ello, siempre es recomendable entablar contacto con el fabricante para solicitar información sobre la inmunidad frente a interferencias.

E.2.4. Trabajadoras embarazadas

Existen informes referidos a los efectos adversos derivados de la exposición materna a campos magnéticos de baja frecuencia. No obstante, en general, las pruebas de una asociación entre tales efectos y la exposición a los campos de baja frecuencia se consideran muy poco fehacientes (ICNIRP, 2010). Sin embargo, un grupo de expertos ha llegado a la conclusión de que el sistema nervioso en desarrollo *in utero* sí podría ser sensible a los campos eléctricos inducidos variables en el tiempo (NRPB, 2004). El mismo grupo ha concluido que la limitación de la intensidad de los campos eléctricos inducidos a un valor aproximado de 20 mV/m debería ofrecer una protección al sistema nervioso en desarrollo *in utero*. Se ha calculado que ello podría lograrse ciñéndose a los niveles de referencia relativos a campos de baja frecuencia especificados en la Recomendación 1999/591/CE del Consejo.

Existen pruebas irrefutables de que la elevación de la temperatura corporal de la madre afecta adversamente al feto y que el sistema nervioso central de este es, al parecer, especialmente sensible. Se ha llegado a la conclusión de que limitar la SAR global referida a todo el cuerpo a 0,1 W/kg en el caso de las mujeres embarazadas debería ofrecer un grado de protección adecuado (NRPB, 2004). Esta limitación es similar a la restricción básica de la exposición a radiofrecuencias de 0,08 W/kg especificada en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

Por ende, un planteamiento pragmático para la mayoría de los empresarios podría consistir en limitar la exposición de las trabajadoras embarazadas con arreglo a los niveles de referencia citados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Ello debería ofrecer un grado de protección adecuado tanto a bajas como a altas frecuencias.

E.2.5. Trabajadores no especificados con riesgos particulares

Los empresarios deben ser conscientes de que actualmente puede haber grupos de trabajadores no especificados con riesgos particulares, tales como los trabajadores que consumen medicamentos específicos indicados para afecciones reconocidas.

APÉNDICE F.

ORIENTACIONES SOBRE OBTENCIÓN DE IMÁGENES POR RM

La obtención de imágenes por resonancia magnética (RM) es una tecnología médica importante que se ha tornado fundamental en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades y constituye una valiosa herramienta de la investigación médica. La técnica se utiliza de manera generalizada en toda la Unión Europea, con decenas de millones de exploraciones cada año, y entraña una exposición deliberada de los pacientes o voluntarios a campos electromagnéticos intensos para generar imágenes detalladas, incluidas las referidas al metabolismo y la actividad del cerebro. Aunque es complementaria de otras tecnologías de obtención de imágenes, como la tomografía computarizada (TC), la RM ofrece la ventaja de que no entraña la exposición a radiación ionizante y no produce efectos en la salud conocidos a largo plazo.

La exposición a campos electromagnéticos de los pacientes y voluntarios dentro del escáner queda fuera del ámbito de aplicación de la Directiva CEM. La distribución de los campos electromagnéticos dentro del escáner viene dictada fundamentalmente por consideraciones de eficiencia en la exploración y calidad de imagen. Además, los fabricantes tratan de reducir al mínimo el alcance de los campos de dispersión fuera del escáner, reduciendo así la exposición del personal que trabaja alrededor del equipo. Los campos magnéticos estáticos pueden superar los niveles de actuación (NA) relativos a efectos indirectos (véase el capítulo 6). Por otra parte, en determinadas circunstancias, los trabajadores pueden verse expuestos a campos que superan los valores límite de exposición (VLE) (véase el cuadro F1). No obstante, la derivación de los VLE incluye un margen de seguridad, lo que significa que una exposición superior al VLE puede no ocasionar efectos en los trabajadores. Se considera seguro exponer de manera normal a pacientes y voluntarios a los campos intensos generados en el interior de un escáner RM (ICNIRP, 2004, 2009).

Se reconoce el valor de la RM como una tecnología fundamental en el sector sanitario y el artículo 10 de la Directiva CEM establece una excepción condicionada de la obligación de cumplir los VLE. La presente orientación se ha elaborado mediante consulta a las partes interesadas del sector de la RM, al objeto de ofrecer un asesoramiento práctico a los empresarios en lo tocante a lograr el cumplimiento de estas condiciones, en caso de necesidad. Los proveedores de servicios de asistencia sanitaria que ofrecen RM contarán con acceso a expertos en materias de radiografía, radiología y física aplicada a la medicina a los que habrán de consultar en relación con la consecución del cumplimiento. Los fabricantes y los centros de investigación contarán con expertos equivalentes y habrán de consultarlos igualmente.

F.1. Diseño y construcción de equipos de obtención de imágenes por RM

Los escáneres de RM están diseñados para generar un entorno electromagnético complejo dentro del tubo central del equipo, con tres componentes principales:

- campos magnéticos estáticos: la mayoría de los sistemas de uso clínico funcionan a 1,5 o 3 T, aunque los sistemas abiertos, preferidos para los procedimientos de intervención, funcionan normalmente a unas densidades de flujo magnéticos menores (0,2-1 T) y existe asimismo una pequeña cantidad de escáneres de campo alto que funcionan a 9,4 T y que se utilizan sobre todo con fines de investigación.

- campos magnéticos de baja frecuencia de gradiente conmutado: los escáneres utilizan tres gradientes ortogonales que se apagan y se encienden rápidamente para generar información posicional relativa a las señales de RM medidas. Se trata de formas de onda pulsátiles complejas que varían con el tipo de exploración que se esté efectuando. Las formas de onda pulsátiles son equivalentes a frecuencias en el intervalo de 0,5 a 5 kHz.
- campos de radiofrecuencia aplicados a la frecuencia de Larmor, que depende de la densidad de flujo magnético estática (62-64 MHz y 123-128 MHz para los escáneres de 1,5 T y 3 T, respectivamente).

Cuadro F.1. Comparación de la exposición de los trabajadores a RM con los valores límite y los efectos resultantes

Ejemplo de exposiciones de los trabajadores	Valores límite	Efectos constatados
Campo magnético estático		
1,0 T, 1,5 T, 3,0 T, 7,0 T	2 T, 8 T	Vértigo en ausencia de movimiento
< 2 m/s equivalente a < 3 T/s 0,3 V/m (máx) en el cerebro o 2 V/m (máx) en el cuerpo	0,05 V/m (RMS) (VLE relacionados con efectos sensoriales) 0,8 V/m (RMS) (VLE relacionados con efectos en la salud)	Vértigo y náuseas
Campos de gradiente conmutado		
100-1 500 Hz Limitados por los valores del SNP del paciente, que se corresponden con los valores estimados de dB/dt y con los campos eléctricos RMS inducidos en el cerebro y el tronco En ubicaciones normales de los pacientes < 40 T/s (RMS) = 4 V/m en el cerebro < 40 T/s (RMS) = 8 V/m en el tronco En las ubicaciones accesibles más desfavorables para los trabajadores que participan en intervenciones < 120 T/s (máx) = 8 V/m en el cerebro < 40 T/s (máx) = 2 V/m en el tronco	0,8 V/m (RMS)	Sensación de cosquilleo, dolor o contracción muscular si se superan los límites de modo controlado relativos al SNP. No se tiene constancia de que se hayan producido efectos en el SNC de los trabajadores de equipos de RM; sí se tiene constancia de efectos en el caso de EMT a valores > 500 T/s o > 50-100 V/m
Campos de radiofrecuencia		
42, 64, 128, 300 MHz WB SAR limitada a < 4 W/kg en el isocentro corresponde a una WBSAR < 0,4 W/kg a la mitad del tubo del escáner < 0,1 W/kg en la abertura del escáner	0,4 W/kg	Sensaciones de calor y sudores a exposiciones > 2 W/kg

Datos facilitados por COCIR; datos adicionales sobre la exposición de los trabajadores disponibles en Stam, 2014.

Todos los escáneres de RM destinados a fines de diagnóstico y/o tratamiento de pacientes y comercializados o puestos en servicio en la Unión Europea a partir del 30 de junio de 2001 tienen que atenerse a los *requisitos esenciales* de la Directiva sobre los productos sanitarios (93/42/CEE), lo que incluye el requisito general de no comprometer la seguridad ni la salud de los usuarios ni, en su caso, de otras personas. Los fabricantes están obligados a elegir soluciones de diseño y construcción que se adecuen al estado de la técnica y que eliminen o reduzcan los riesgos en la medida de lo posible. Para

ayudar a los fabricantes a lograr la conformidad con los requisitos esenciales y obrando con arreglo a un mandato otorgado por la Comisión Europea, el Comité Europeo de Normalización Electrónica (Cenelec) ha publicado una norma de productos relativa a equipos de resonancia magnética para el diagnóstico médico (EN 60601-2-33).

La versión actual de la EN 60601-2-33 incluye la obligación de los fabricantes de ofrecer información sobre la distribución espacial de los campos, la cual suele poder consultarse en los manuales de los escáneres. Esta información está disponible para todos los sistemas de RM y debe ayudar a los empresarios a identificar las zonas donde puedan superarse los VLE. Además, los escáneres deben aportar información sobre la emisión de gradientes y la tasa de absorción específica de energía (SAR) de radiofrecuencia antes de iniciar cualquier exploración. Los escáneres deben incluir asimismo mecanismos de protección frente a exposiciones excesivas. Es posible que los requisitos citados en este apartado no se apliquen en el caso de los equipos antiguos.

F.2. Exposición del trabajador durante el funcionamiento de un equipo de obtención de imágenes por RM en el sector sanitario

Los escáneres de RM están diseñados para generar campos intensos pero cuidadosamente controlados dentro del tubo central del aparato y para reducir al mínimo los campos de dispersión fuera de su ámbito de funcionamiento. Por ello, los campos pierden intensidad muy rápidamente al aumentar la distancia con respecto a la abertura del escáner, lo que suele dar lugar a unos elevados gradientes de campo espaciales próximos al escáner pero mucho más débiles conforme aumenta la distancia. Los datos disponibles apuntan a que solo el trabajo dentro del tubo central del escáner o en las inmediaciones de la abertura conllevará una exposición por encima de los VLE.

Puesto que la exposición de los trabajadores que no tienen que acercarse a la abertura del escáner siempre será conforme, no es necesario evaluarla. La evaluación de la exposición de los trabajadores que tienen que acercarse a la abertura o entrar en el tubo central del escáner será compleja. Precisa de un conocimiento detallado de la distribución espacial de los campos dentro y fuera del escáner y del modo en que el personal se desplaza en relación con el aparato mientras trabaja, algo que dependerá en gran medida de las tareas que se lleven a cabo. Además, en el caso ideal, las evaluaciones deben basarse en técnicas de modelado numérico, de manera que las exposiciones puedan compararse directamente con los VLE. Tales evaluaciones están más allá de las capacidades de la mayoría de los centros que llevan a cabo de manera normal procedimientos relacionados con la RM.

Con el fin de obtener información sobre las exposiciones de los trabajadores derivadas de una serie de procedimientos habituales y de diferentes tipos de equipos, la Comisión Europea financió un estudio realizado en cuatro centros de resonancia magnética situados en distintos países. Este proyecto detallado evaluó el movimiento del personal y su posición durante los distintos procedimientos, y elaboró mapas de campo y de dosimetría automatizada (Capstick y cols., 2008). Los resultados de este estudio y de otros anteriores (examinados en Stam, 2008) son informativos, aunque las detalladas conclusiones deben tratarse con cierta cautela. Los resultados se relacionan con la Directiva CEM anterior y hacen uso de unos parámetros de medición de la exposición distintos. Por otra parte, se limitan a una cantidad de escáneres y de hipótesis de exposición relativamente reducida. Análisis recientes apuntan a que los VLE podrían superarse en determinadas circunstancias (Stam, 2014; McRobbie, 2012).

La medición de datos relativos a campos de gradiente conmutado ha de tratarse con especial cautela ya que, en muchos casos, los niveles de actuación recogidos en la Directiva CEM vigente son menos restrictivos que los empleados en estudios sobre exposición anteriores. En general, la comparación con los niveles de actuación suele dar lugar a una evaluación conservadora respecto al uso de los VLE, de modo que esta última es preferible, aunque precisa de la posesión de conocimientos especializados en materia de dosimetría automatizada.

F.2.1. Exposiciones relativas a los VLE

F.2.1.1. Campos magnéticos estáticos

En el caso de la totalidad de los escáneres de campo bajo (que funcionan a menos de 2 T) y de la mayoría de los procedimientos normales con escáneres que funcionan por encima de 2 T, la exposición a campos magnéticos estáticos cumplirá los VLE sensoriales. En cuanto a los demás procedimientos en los que se utilizan escáneres de hasta 8 T, la exposición a campos magnéticos estáticos cumplirá los VLE relacionados con efectos en la salud.

F.2.1.2. Movimiento a través de campos magnéticos estáticos

El movimiento a través de campos magnéticos estáticos intensos generados por escáneres de RM inducirá campos eléctricos dentro de los tejidos del cuerpo, que podrían superar los VLE especificados en la Directiva CEM. A velocidades de movimiento normales, este fenómeno solo se producirá en el tubo central del escáner y a una corta distancia de la abertura (por lo general, a no más de 1 m, según la información disponible). Esto constituye un problema especial durante la colocación del paciente, que puede exigir que el operario efectúe movimientos rotatorios complejos de la cabeza.

F.2.1.3. Campos de gradiente conmutado

En la mayoría de los procedimientos normales, las exposiciones a campos de gradiente conmutado no superarán los VLE sensoriales o relacionados con efectos en la salud. Sin embargo, en una minoría de procedimientos, en los que los trabajadores tienen que acercarse mucho a la abertura del escáner (normalmente a menos de 1 m), sí podrían superarse los VLE, mientras que en el caso de una cantidad muy pequeña de procedimientos será muy probable que se superen los VLE, sobre todo si el trabajador tiene que inclinarse dentro del escáner. La exposición real dependerá de una serie de factores, incluida la cantidad de gradientes que están activos simultáneamente y las características de tales gradientes, dando lugar los procedimientos de obtención de imágenes de alta velocidad a un mayor nivel de exposición. En el cuadro F.2. se exponen ejemplos de procedimientos correspondientes a cada una de las categorías.

F.2.1.4. Campos de radiofrecuencia

Los VLE relativos a radiofrecuencias se promedian a lo largo de períodos de seis minutos y la exposición será, por lo general, conforme en caso de que un trabajador tenga que inclinarse dentro de un escáner (para controlar a un paciente, por ejemplo), siempre que ello se prolongue únicamente durante unos minutos. Las exposiciones más prolongadas también cumplen, a menudo, los VLE.

F.3. Excepción aplicable a la obtención de imágenes por RM

Se reconoce la importancia de la RM como una tecnología fundamental en el sector sanitario y el artículo 10 de la Directiva CEM establece una excepción no discrecional, sino condicionada, de la obligación de cumplir los VLE. Esta excepción se aplica a la exposición de los trabajadores asociada a la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de obtención de imágenes por resonancia magnética (RM) en tanto se cumplan las condiciones siguientes:

- i) que la evaluación de los riesgos realizada de conformidad con el artículo 4 haya demostrado que se han superado los valores límite de exposición,

- ii) que, habida cuenta del estado de la técnica, se hayan aplicado todas las medidas técnicas u organizativas,
- iii) que las circunstancias justifiquen debidamente la superación de los valores límite de exposición,
- iv) que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, el equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y
- v) que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, en particular asegurándose de que se siguen las instrucciones de uso seguro facilitadas por el fabricante de conformidad con la Directiva 93/42/CEE del Consejo sobre los productos sanitarios.

Cuadro F.2. Riesgo de superación de los VLE pertinentes en caso de exposición a campos de gradiente durante distintos tipos de exploraciones mediante RM

Riesgo de superación de los VLE	Procedimiento
Alto	Colocación de hilos de guía (con exploración en tiempo real) Técnicas de intervención tales como la RM cardiovascular de intervención RM funcional (estimulación física del paciente en el escáner) Ajuste de electrodos EEG (actividad de investigación)
Medio	Anestesia general (control exhaustivo del estado del paciente durante la exploración) Prueba de esfuerzo cardíaco (control exhaustivo del estado del paciente durante la exploración) Limpieza/control de infecciones dentro del escáner (sin exploración) Tranquilizar a un niño durante la exploración (la persona que lo hace se mantiene fuera del escáner, aunque a menos de 1 m de la abertura)
Bajo	Exploraciones normales (no hay personal presente en la sala de exploración) Biopsia (el paciente no está dentro del escáner/no hay exploración) Administración manual de un medio de contraste (no hay exploración)

Cabe señalar que la excepción se aplica únicamente con respecto a los VLE, cuyo objeto consiste en evitar los efectos directos de los campos electromagnéticos en las personas. Pueden desprenderse otros peligros del funcionamiento de equipos de obtención de imágenes por RM que pudieran dar lugar a riesgos para la seguridad de efectos potencialmente graves. Los operarios deben cerciorarse de que tales riesgos se gestionen adecuadamente. Estos otros peligros pueden incluir la interferencia con:

- dispositivos médicos implantados activos o pasivos,
- dispositivos médicos corporales,
- equipos electrónicos sanitarios,
- implantes cosméticos o medicinales.

Pueden existir, además, los peligros siguientes:

- riesgo de proyección derivado del movimiento de materiales ferromagnéticos en un campo magnético intenso,
- ruido,
- helio líquido.

F.4. Cumplimiento de las condiciones de la excepción

La presente sección orienta a los empresarios sobre la evaluación del cumplimiento de las condiciones para la aplicación de la excepción.

F.4.1. Evaluación de riesgos para determinar si se superan los VLE

En el capítulo 5 se ofrecen orientaciones específicas sobre la realización de evaluaciones de riesgo en el contexto de la Directiva CEM. Los equipos de imágenes por resonancia magnética utilizan campos intensos para elaborar imágenes y, por ende, a menudo existirá el potencial de superar los VLE. Sin embargo, la intensidad de los campos eléctricos solo superará, generalmente, los VLE dentro del escáner o muy cerca de la abertura (véase la sección F.1), y la mayoría de los procedimientos de RM (aproximadamente un 97 %) no exigen que el personal esté presente en tales ubicaciones durante la exploración.

Habida cuenta de que la evaluación de la exposición supera, probablemente, el ámbito de capacidades de la mayoría de los centros que llevan a cabo procedimientos de RM normales, será aceptable que aquellos se basen en datos publicados y en información sobre la exposición prevista facilitada por los sistemas de exploración.

La clave para la evaluación del riesgo será, pues, determinar si el personal tiene que entrar en las zonas donde pueden superarse los VLE (normalmente, a menos de 1 m de la abertura). Durante el funcionamiento normal y la atención de pacientes, los operarios accederán a dicha zona, aunque no mientras en el sistema se esté realizando un examen. Si el personal tiene que aproximarse a menos de 1 m de la abertura, bastará con que se muevan lentamente para mantener los campos eléctricos inducidos por el movimiento por debajo de los VLE pertinentes. El examen del cuadro F.2 y los datos de exposición publicados (véase la sección F.2) ayudarán a los empresarios a determinar qué procedimientos, si hay alguno, podrían dar lugar a un nivel de la exposición por encima del VLE en relación con los campos de gradiente conmutado.

El personal debe evitar en lo posible acceder al tubo central del escáner (véase la sección F.6.4). No obstante, ha de señalarse que, en caso de que el personal tenga que acceder al tubo del escáner para desempeñar actividades tales como el control de infecciones, lo hará con el gradiente conmutado y con los campos de RF desactivados, de manera que solo habrán de considerarse las exposiciones derivadas del campo magnético estático. Como se indica en la sección F.2, en el caso de los escáneres que funcionan con densidades de flujo magnéticos de hasta 8 T no se superarán los VLE relacionados con los efectos en la salud. Si se adoptan medidas para informar a los trabajadores y evitar riesgos de seguridad, será aceptable superar temporalmente los VLE relacionados con efectos sensoriales.

F.4.2. Aplicación de medidas técnicas y organizativas con arreglo al estado de la técnica

F.4.2.1. Medidas técnicas

Las medidas técnicas para limitar los campos dentro del tubo central del escáner son inherentes al diseño y la construcción del aparato y dependen asimismo de los modos de funcionamiento para restringir la potencia de salida. Los fabricantes desarrollan y mejoran continuamente sus equipos, incluidas las medidas para limitar los campos, en el marco de la consecución del cumplimiento de las disposiciones de la Directiva sobre los productos sanitarios. De estos requisitos de cumplimiento se desprende que, en el

momento de la fabricación y la instalación, las medidas técnicas incorporadas a los escáneres serán conformes al estado de la técnica. La modificación de los equipos de RM posterior a su instalación entrañaría dificultades técnicas y precisaría normalmente de una reevaluación del cumplimiento de la Directiva sobre los productos sanitarios, lo que por lo general supera la capacidad de los centros en que se explotan los aparatos.

En principio, sería posible elegir unos parámetros de funcionamiento (como las características del gradiente o la intensidad del campo de radiofrecuencia) para reducir la exposición cuando el personal tiene que entrar dentro del tubo central del escáner o situarse próximo a la abertura. Sin embargo, en la práctica, la selección de los parámetros de funcionamiento del escáner viene determinada por las necesidades clínicas, por lo que los procedimientos clínicos que entrañan que el personal se incline dentro del escáner (como sucede en los procesos de intervención) serán a menudo los que precisan de unas exploraciones rápidas que generan unos elevados niveles de exposición. Por ello, es improbable que haya mucho margen para reducir la exposición a través de este planteamiento pero, en caso de que exista cierto grado de flexibilidad, los radiólogos deberán seleccionar unas exploraciones más lentas y unas exposiciones a radiofrecuencias menores si es previsible que el personal tenga que acercarse al escáner. No obstante, la selección de los ajustes adecuados del escáner debe seguir siendo un asunto sujeto al juicio clínico.

F.4.2.2. Medidas organizativas

Los empresarios que exploten escáneres de RM deben atenerse a las recomendaciones dadas en las secciones F.5 y F.6, *infra*.

F.4.3. Circunstancias que justifican debidamente la superación de los VLE

Las circunstancias que justifican debidamente la superación de los VLE dependen de las aplicaciones concretas. Para el diagnóstico y el tratamiento, la obligatoriedad de llevar cabo unos procedimientos determinados estará siempre sujeta al juicio clínico. En caso de que los procedimientos entrañen que los trabajadores tengan que estar presentes en la zona próxima a la abertura identificada en el plano (véase la sección F.5.3 *infra*), el empresario tendrá que consultar a los profesionales sanitarios pertinentes para evaluar si existen otros medios aceptables para lograr el fin deseado, teniendo en cuenta las necesidades clínicas y la seguridad del paciente.

Los fabricantes deben tener en cuenta unas consideraciones similares a la hora de organizar su trabajo, sobre todo la necesidad de que el equipo genere imágenes de calidad apropiada para el uso clínico. Los centros de investigación deben seguir un proceso análogo al que se sigue en el caso de la atención directa de pacientes, teniendo en cuenta la calidad de los datos obtenidos y la seguridad de los voluntarios.

F.4.4. Características del lugar de trabajo, equipo de trabajo o prácticas de trabajo

Los empresarios deben tomar nota de los contenidos de la sección F.1, *supra*, y atenerse a las recomendaciones dadas en las secciones F.5 y F.6 *infra*.

F.4.5. Protección de los trabajadores y uso seguro

Como se ha explicado en la sección F.1, el equipo de RM conforme a la norma EN 60601-2-33 incluye mecanismos de protección frente a exposiciones excesivas. No obstante, si se superan los VLE existe el riesgo de que los trabajadores más sensibles a

los campos puedan experimentar ciertos efectos. Por este motivo, es importante que los trabajadores obligados a entrar en la zona de acceso controlado (véase la sección F.5.1) reciban información sobre las posibles consecuencias de la exposición, de modo que puedan reconocer si se están produciendo y limitar su exposición de manera adecuada. Todos estos sucesos deben comunicarse al jefe de unidad o persona responsable, que tendrá que adoptar las medidas adecuadas.

Los escáneres de RM son equipos médicos o de investigación de naturaleza técnica muy compleja y sus operarios son personas que cuentan con una formación exhaustiva. Los equipos incorporan numerosos sistemas de seguridad, lo que incluye mecanismos de protección frente a exposiciones excesivas y sistemas de advertencia automáticos. En tanto los empresarios apliquen sistemas que garanticen que los operarios utilizan los equipos con arreglo a las instrucciones del fabricante y prestan atención a los sistemas de advertencia automáticos, aquellos serán seguros para los pacientes y los trabajadores, según exige la Directiva sobre los productos sanitarios (93/42/CEE).

F.4.6. Trabajadoras embarazadas

Cuando una trabajadora informe de que está embarazada, el empresario deberá revisar la evaluación de riesgos vigente para comprobar si sigue siendo válida. Si es preciso introducir modificaciones, deberá llevarse a cabo una evaluación de riesgos específica. En el capítulo 5 y el apéndice E de la presente guía se ofrecen orientaciones adicionales.

F.5. Organización de las instalaciones de imágenes por RM

Los centros pueden reducir al mínimo la exposición de los trabajadores adoptando un planteamiento estructurado de la organización de las instalaciones de imágenes por RM y, concretamente, dividiendo la zona con arreglo a la magnitud de los campos que es probable estén presentes. Ello facilita la restricción del acceso a las zonas en las que el riesgo de una exposición por encima de los VLE es más alto. En general, la mayoría de instalaciones de imágenes por RM aplican ya un sistema de restricción de acceso basado en otros peligros (véase la lista de tipos de la sección F.3). El planteamiento descrito a continuación se basa en propuestas de buenas prácticas publicadas en otros documentos y desarrolla los planteamientos existentes en el contexto de la Directiva CEM.

F.5.1. Zona de acceso controlado

La norma EN 60601-2-33 define el concepto de zona de acceso controlado y especifica que esta es necesaria para cualquier equipo de imágenes por RM que genere un campo disperso de más de 0,5 mT fuera de su cubierta fija y/o no cumpla el nivel de interferencia electromagnética especificado en la norma EN 60601-1-2. De este modo, la designación de una zona de acceso controlado es ya una práctica habitual en el sector de la atención sanitaria.

Dentro de la zona de acceso controlado existirá el riesgo de interferencia con dispositivos médicos implantados activos y otros dispositivos sanitarios. También existirán riesgos de atracción de materiales ferromagnéticos o fuerzas de torsión que actúen sobre tales materiales.

El acceso a la zona tendrá que restringirse, en el caso ideal por medio de una puerta de acceso controlado, con la señalización adecuada. Será necesario contar con unos procesos organizativos adecuados para controlar el acceso a la zona (véase la sección F.6 *infra*).

F.5.2. Sala de exploración

El acceso a la sala de exploración estará limitado a los trabajadores que tengan que estar presentes en ella por necesidades operativas. Quienes accedan a la sala no permanecerán en ella más tiempo del necesario para desempeñar sus funciones.

El gradiente espacial de campo magnético es máximo en la zona inmediata a la abertura del escáner. Los campos de gradiente conmutado en esta zona también pueden ser lo bastante intensos como para que exista el riesgo de superar el VLE mientras el escáner está funcionando. Esta zona debe identificarse, pues, en un plano expuesto en la sala de exploración. La zona identificada se basará en los campos de gradiente espacial y de gradiente conmutado más restrictivos y, normalmente, se adecuará a las recomendaciones del fabricante. En caso de que no se disponga de esta información específica (al tratarse de un escáner antiguo, por ejemplo), el procedimiento por defecto consistirá en identificar una zona situada a una distancia máxima de 1 m de la abertura (medida a partir del eje central), que suele ser la adecuada. El plano debe servir para advertir a los trabajadores de los riesgos mayores que entraña trabajar en esta zona. Los trabajadores no entrarán en la zona identificada a menos que ello sea necesario para cumplir sus funciones y no permanecerán en ella más tiempo del necesario. Cualquier miembro del personal que tenga que acceder a la zona identificada procurará moverse lentamente para evitar efectos adversos.

F.5.3. Disposición de la sala de exploración

La disposición de la sala de exploración deberá estar concebida de manera que se evite, en la medida de lo posible, la necesidad de que el personal trabaje cerca del escáner. Por ello, los equipos de anestesia y otros equipos móviles se colocarán lo más apartados que se pueda del escáner, siempre que ello sea conforme con las buenas prácticas médicas. Igualmente, la administración de medicamentos y medios de contraste se automatizará siempre que sea posible, aunque se reconoce que no siempre será seguro: se trata de una cuestión sujeta al juicio clínico. Concretamente, la infusión manual suele considerarse una alternativa más segura para pacientes jóvenes o muy enfermos y su uso siempre estará sujeto al juicio clínico.

F.6. Organización del trabajo

F.6.1. Zona de acceso controlado

La zona de acceso controlado estará sujeta a un régimen organizativo adecuado, que deberá documentarse. Un miembro del personal que goce de una posición de autoridad, por ejemplo el radiógrafo responsable, deberá supervisar directamente las actividades de trabajo.

El personal médico y los visitantes presentes en la zona de acceso controlado deberán someterse a la supervisión continua de un trabajador de RM.

Un elemento fundamental de estos regímenes consistirá en el proceso de examen encaminado a identificar a las personas expuestas a riesgos debido a la presencia de implantes activos o pasivos o de otros factores de riesgo tales como piercings o tatuajes con elevado contenido de hierro. Se aplicarán los mismos criterios de examen a los pacientes y al personal sanitario.

También tendrán que aplicarse procesos de control del acceso fuera del horario normal de trabajo (por parte de limpiadores, personal de seguridad, bomberos y personal de mantenimiento del edificio).

El proceso de examen se hará extensivo asimismo a los objetos introducidos en la zona para garantizar que los objetos ferromagnéticos se identifiquen como seguros o compatibles con la RM. Esto se recogerá en los procedimientos locales.

F.6.2. Formación del personal

El personal que tenga que trabajar en la zona de acceso controlado recibirá formación en materia de seguridad referida a la RM. La formación debe comprender:

- sensibilización sobre los posibles efectos del movimiento en un campo magnético estático intenso;
- sensibilización sobre los efectos de los campos de gradiente conmutado intensos;
- sensibilización sobre los efectos de los campos de radiofrecuencia;
- sensibilización sobre el riesgo de proyección derivado de la atracción de materiales ferromagnéticos y de los riesgos de las fuerzas de torsión que actúan sobre tales materiales;
- sensibilización sobre el riesgo de interferencia con dispositivos médicos implantados activos;
- sensibilización sobre los riesgos de interferencia con equipos médicos electrónicos;
- la importancia de las restricciones de acceso y el examen de las personas o los objetos que entran en la zona de acceso controlado;
- la importancia de moverse lentamente alrededor y dentro del escáner;
- sensibilización sobre la distribución espacial de los campos alrededor del escáner;
- sensibilización sobre otros peligros, incluidos el ruido y los gases criogénicos;
- procedimientos de evacuación en caso de «quenching» (atenuación) de un imán superconductor;
- sensibilización sobre procedimientos en caso de emergencia.

La formación se adecuará normalmente a la instalación de que se trate y, por lo tanto, la impartirán internamente personas que cuenten con los conocimientos y la experiencia adecuados. Está previsto que los organismos profesionales europeos pertinentes elaboren documentos orientativos sobre los requisitos de formación.

En caso de que otro personal, como limpiadores, personal de seguridad, bomberos y trabajadores de mantenimiento del edificio, pueda tener acceso a la zona de acceso controlado, también recibirá una formación de sensibilización adecuada a la zona a la que es posible tenga que acceder, si bien no tendrá que ser tan detallada como la que reciba el personal de RM.

F.6.3. Sala de exploración

El personal que tenga que entrar en la zona próxima a la abertura identificada en el plano procurará moverse lentamente, de modo que los eventuales efectos transitorios resulten tolerables para la persona. Se han publicado orientaciones adicionales sobre la restricción del movimiento en campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 2014) que se analizan con mayor detalle en la sección D.4. El personal tendrá que ser consciente de los efectos de los campos de gradiente conmutado y de la importancia de no acercarse a la zona identificada en el plano a menos que así lo exija el procedimiento que se esté llevando a cabo y, posteriormente, de no permanecer en la zona más tiempo del necesario.

Al llevarse a cabo una exploración activa con trabajadores cerca o dentro del tubo, estos pueden experimentar una estimulación nerviosa periférica. Los escáneres modernos están diseñados para limitar la estimulación nerviosa periférica en la mayoría de las personas, pero las más sensibles pueden experimentar aún ciertos efectos y han de ser

conscientes de los síntomas, de manera que se puedan tomar medidas para limitarlos. En caso de que los trabajadores experimenten efectos derivados de la exposición, estos se comunicarán al responsable de la instalación que, en caso de necesidad, actualizará la evaluación de riesgos y las medidas de prevención.

Los efectos directos en los trabajadores pueden ocasionar riesgos para la seguridad de otras personas. Por ejemplo, el vértigo o los trastornos visuales experimentados por los trabajadores al moverse rápidamente por un campo estático pueden perjudicar a su capacidad de prestar una atención adecuada al paciente.

F.6.4. Entrada en el escáner

Debe instruirse al personal para que no entre en el tubo del escáner a menos que sea absolutamente necesario. La entrada en el tubo del escáner para, por ejemplo, limpiarlo o para tranquilizar a un paciente, debe reducirse al mínimo necesario para desempeñar la tarea de que se trate. El personal debe considerar si el procedimiento es necesario o si sería posible lograr el mismo objetivo sin entrar. El personal que no esté familiarizado con los efectos del movimiento en campos magnéticos estáticos intensos puede verse expuesto a un riesgo mayor.

En muchos casos, métodos sencillos como la observación a distancia (mediante el uso de un espejo, por ejemplo) pueden emplearse en actividades como la supervisión de pacientes durante la exploración o la inspección del tubo del escáner. Igualmente, ciertos utensilios de mango largo pueden ser adecuados en determinados procedimientos de limpieza. Un uso razonable de estos métodos reducirá al mínimo la necesidad de que los trabajadores entren en el escáner.

Si es fundamental que lo hagan, los campos de radiofrecuencia y los de gradiente conmutado se desactivarán, a menos que sea absolutamente necesario que permanezcan activados. Si es necesario que permanezcan activados los campos de gradiente conmutado, se limitarán, si es posible, a un único gradiente y a una velocidad de exploración baja, de modo que se reduzca la magnitud de la exposición. Igualmente, si es necesario que permanezcan activados los campos de radiofrecuencia, se mantendrán a la potencia mínima que permita lograr el objetivo de trabajo correspondiente.

F.7. La obtención de imágenes por RM en el ámbito de la investigación

Se reconoce que, en el ámbito de la investigación, el trabajo tiende a ser menos ordinario y puede entrañar la necesidad de que la actividad del trabajador se desarrolle cerca del escáner. No obstante, debe ser posible, en general, atenerse a los principios generales expuestos en relación con la exploración de pacientes y adaptarlos según sea necesario para que se adecuen a los requisitos concretos de la investigación. La Sociedad Internacional de Resonancia Magnética en la Medicina (Calamante y cols., 2014) ha elaborado orientaciones detalladas sobre el manejo seguro de dispositivos de imágenes por RM en el ámbito de la investigación.

APÉNDICE G. REQUISITOS DE OTROS DOCUMENTOS EUROPEOS

G.1. Base jurídica de la legislación europea

Tres tratados fundamentales conforman la legislación de la Unión Europea:

- Tratado de la Unión Europea (TUE),
- Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE),
- Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica.

El TFUE (antiguo Tratado de Roma) ofrece la base jurídica de las Directivas citadas a continuación.

G.2. Directivas de seguridad y salud

El TFUE establece el objetivo de fomentar mejoras en el entorno de trabajo en lo que respecta a la seguridad y la salud de los trabajadores. Para contribuir a la consecución de este objetivo, contempla la adopción de directivas que establezcan requisitos mínimos.

G.2.1. Directiva marco

En 1989, se adoptó la Directiva marco 89/391/CEE, que es la Directiva general en este ámbito. La Directiva marco establece principios generales de prevención y protección de los trabajadores en relación con los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales. Impone obligaciones a los empresarios en relación con:

- la evaluación de riesgos (véase el capítulo 5);
- la prevención de riesgos (véase el capítulo 9);
- sistemas de primeros auxilios, lucha contra incendios, evacuación y medidas en caso de riesgo grave e inminente;
- mantenimiento de un registro de accidentes;
- información, participación y formación de los trabajadores;
- vigilancia de la salud con arreglo a la legislación y las prácticas nacionales;
- protección de los grupos de riesgo especialmente sensibles.

La Directiva marco también impone las siguientes obligaciones a los trabajadores:

- hacer un uso correcto de equipos, sustancias y equipos de protección individual;
- informar al empresario de cualquier situación que represente un peligro grave e inminente y de cualquier deficiencia en los regímenes de protección;
- cooperar con el empresario en la adopción de medidas de protección de la seguridad y la salud.

La Directiva marco también establece la adopción de directivas específicas que, básicamente, pormenorizan en mayor medida el modo de lograr los objetivos de la Directiva marco en situaciones concretas. La Directiva CEM es una de las muchas directivas específicas que complementan los requisitos generales de la Directiva marco. Algunas de las demás directivas pueden ser pertinentes para el trabajo con CEM y se analizan brevemente a continuación. Para obtener una información definitiva sobre tales directivas, consúltense estas, la legislación nacional que las transpone y las eventuales guías oficiales que haya disponibles.

G.2.2. Directiva sobre los equipos de trabajo

La Directiva sobre los equipos de trabajo (2009/104/CE) impone obligaciones a los empresarios para que estos garanticen que los equipos de trabajo facilitados a los trabajadores son seguros y adecuados para el lugar de trabajo en el que se vayan a usar. También obliga a los empresarios a garantizar que los equipos de trabajo se mantengan adecuadamente, de manera que sean conformes a lo largo de toda su vida útil. El empresario debe llevar a cabo inspecciones y/o exámenes para garantizar que los equipos se instalen correctamente y funcionen adecuadamente y debe registrar los resultados.

En caso de equipos de trabajo que es probable den lugar a riesgos específicos, el empresario está obligado a restringir su uso a quienes lo precisen y garantizar que las reparaciones, las modificaciones, el mantenimiento y la revisión solo los lleve a cabo personal designado.

Los empresarios están obligados a facilitar a los trabajadores información sobre las condiciones de uso de los equipos de trabajo, situaciones anormales previsibles y peligros correspondientes. Los trabajadores deben recibir asimismo formación adecuada.

G.2.3. Directiva sobre los lugares de trabajo

La Directiva sobre los lugares de trabajo (89/654/CE) impone a los empresarios la obligación de ofrecer un lugar de trabajo seguro, limpio y adecuadamente mantenido.

G.2.4. Directiva relativa a la señalización de seguridad y de salud en el trabajo

La Directiva relativa a la señalización de seguridad y de salud en el trabajo (92/58/CEE) obliga a los empresarios a garantizar la instalación de señalización de seguridad y de salud donde los peligros no puedan evitarse o reducirse. Los trabajadores y sus representantes tienen que recibir instrucción acerca del significado de las señales y las medidas que hay que emprender cuando estas se exhiben.

Los requisitos mínimos sobre tales señales se detallan en los anexos de la Directiva.

G.2.5. Directiva sobre las trabajadoras embarazadas

La Directiva sobre las trabajadoras embarazadas (92/85/CEE) obliga a los empresarios a evaluar los riesgos para la seguridad y la salud derivados de la exposición a agentes físicos, biológicos y químicos, incluidas las radiaciones no ionizantes. Los resultados de la evaluación y las eventuales medidas que se adopten deben comunicarse a las trabajadoras embarazadas, que hayan dado a luz o estén en período de lactancia, y a las que puedan encontrarse en una de tales situaciones. De identificarse riesgos,

el empresario estará obligado a evitarlos modificando las condiciones de trabajo, trasladando a la trabajadora a otro puesto o concediéndole una baja.

La Directiva también brinda protección a las trabajadoras embarazadas frente a los turnos de noche con arreglo a indicaciones médicas, otorga derechos relativos al permiso de maternidad y ofrece protección frente al despido debido al embarazo o al permiso por maternidad.

G.2.6. Directiva relativa a la protección de los jóvenes en el trabajo

La Directiva relativa a la protección de los jóvenes en el trabajo (94/33/CE) establece un sistema de protección para cualquier trabajador menor de 18 años de edad. Con ciertas excepciones definidas, los Estados miembros están obligados a prohibir el trabajo de los menores en edad de escolarización obligatoria (y, en cualquier caso, a los menores de 15 años).

Los empresarios están obligados a llevar a cabo una evaluación de riesgos que tenga en cuenta, concretamente, los riesgos derivados de la falta de experiencia, la falta de conocimiento de los riesgos existentes o potenciales y el hecho de que los jóvenes son personas que no han madurado plenamente. Los empresarios están asimismo obligados a adoptar medidas para proteger la seguridad y la salud de los jóvenes. La evaluación debe llevarse a cabo antes de que los jóvenes empiecen a trabajar y cuando se produzcan cambios importantes de las condiciones de trabajo. Los trabajadores jóvenes y sus representantes deben estar informados de los resultados de la evaluación y de las medidas adoptadas.

G.2.7. Directiva sobre el uso de los equipos de protección individual (EPI)

La Directiva sobre el uso de los equipos de protección individual (89/656/CEE) impone a los empresarios la obligación de garantizar que se utilicen equipos de protección individual en caso de que no se puedan evitar o limitar de manera suficiente los riesgos a través de medios técnicos u organizativos. Los equipos de protección individual deben adecuarse a las disposiciones de la UE sobre diseño y construcción en materia de seguridad y de salud que lo afecten y, en cualquier caso, deben:

- ser adecuados a los riesgos de los que haya que protegerse, sin suponer de por sí un riesgo adicional;
- responder a las condiciones existentes en el lugar de trabajo;
- tener en cuenta las exigencias ergonómicas y el estado de salud del trabajador;
- adecuarse al portador, tras los necesarios ajustes.

Los equipos de protección individual deberán suministrarse a los trabajadores gratuitamente, en buen estado de funcionamiento y en estado higiénico satisfactorio. El empresario tendrá que llevar a cabo una evaluación para garantizar si son adecuados y, si procede, compatibles con otros equipos de protección individual.

Los trabajadores deberán recibir formación adecuada sobre el uso de cualquier EPI que se les facilite.

G.3. Directivas sobre productos

El TFUE prohíbe las restricciones cuantitativas del comercio entre Estados miembros de la Unión Europea o las medidas que tengan efectos similares. La jurisprudencia ha establecido que las restricciones de la libre circulación de mercancías dentro de la Unión

Europea solo puede justificarse sobre la base de la no conformidad o los *requisitos esenciales*. Ello ha dado lugar, a su vez, a la necesidad de definir tales *requisitos esenciales* y normalizar la evaluación de la conformidad.

Estas cuestiones se trataron en un inicio a través de la adopción del *nuevo enfoque* de la reglamentación sobre productos, que estableció los siguientes principios:

- la armonización legislativa debe limitarse a unos requisitos esenciales a los que deben ajustarse los productos comercializados en la UE si desean beneficiarse de la libre circulación en la Unión Europea;
- las especificaciones técnicas destinadas a que los productos cumplan los requisitos esenciales deben establecerse en unas normas armonizadas;
- los productos fabricados con arreglo a las normas armonizadas se benefician de una presunción de conformidad con los requisitos esenciales correspondientes;
- la aplicación de normas armonizadas o de otra índole es voluntaria; los fabricantes pueden en todo caso aplicar otras especificaciones técnicas para cumplir los requisitos, aunque en tal caso tendrán que demostrar que lo han hecho.

El nuevo enfoque ha sido sustituido recientemente por el nuevo marco legislativo, que ha revisado y fortalecido ciertos aspectos del sistema anterior.

Este sistema de legislación sobre productos contempla la reglamentación de amplios grupos de productos que comparten requisitos esenciales comunes. Hasta la fecha se han adoptado 27 directivas en este sistema, aunque solo algunas de ellas pueden ser pertinentes para la seguridad relativa a los CEM en el lugar de trabajo. Tales directivas se citan a continuación.

G.3.1. Equipos eléctricos

Los equipos eléctricos comercializados en el mercado de la Unión están sujetos al cumplimiento de las disposiciones de la Directiva sobre el material eléctrico de baja tensión (2006/95/CE). Esta Directiva se refundió en 2014, lo que obligó a los Estados miembros a adoptar legislación nacional para transponer la nueva Directiva sobre el material eléctrico de baja tensión (2014/35/UE) antes del 20 de abril de 2016. Con excepciones concretas, las Directivas sobre el material eléctrico de baja tensión se aplican a equipos eléctricos diseñados para funcionar a tensiones de CA de entre 50 y 1 000 V o a tensiones de CC de entre 75 y 1 500 V.

Las Directivas sobre el material eléctrico de baja tensión disponen que los equipos no deben poner en peligro la seguridad y la salud de las personas, los animales domésticos o los bienes si se instalan adecuadamente y se mantienen y utilizan con arreglo a las indicaciones. Se establece una disposición de especial relevancia para esta guía, relativa al uso de medidas técnicas para garantizar que los equipos no generen radiaciones que puedan entrañar un peligro.

G.3.2. Máquinas

Las máquinas comercializadas en el mercado de la Unión Europea están sujetas a los requisitos de la Directiva relativa a las máquinas (2006/42/CE). En sentido lato, la Directiva se aplica a cualquier conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento. Con la excepción de las máquinas de elevación, los equipos accionados únicamente por la fuerza humana o animal están excluidos del ámbito de aplicación de la Directiva. Existe una serie de exclusiones y añadidos a este amplio ámbito de aplicación.

La Directiva relativa a las máquinas existe para garantizar que estas no representen un riesgo para la seguridad y la salud. Se aplican requisitos específicos para garantizar la eliminación de la emisión de radiaciones no deseadas o su reducción a niveles que no causen efectos peligrosos en las personas. La radiación no ionizante emitida durante la instalación, el funcionamiento y la limpieza debe limitarse a niveles que no afecten perjudicialmente a las personas.

Los fabricantes de máquinas están obligados a facilitar información sobre riesgos residuales en las instrucciones suministradas junto a las máquinas. También están obligados a facilitar información sobre posibles emisiones de radiaciones no ionizantes en caso de que estas puedan causar daños a las personas, incluidas las que llevan implantes médicos.

G.3.3. Equipos radioeléctricos

Los equipos radioeléctricos comercializados en la Unión Europea están sujetos al cumplimiento de las disposiciones de la Directiva sobre equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación (1999/5/CE). Sin embargo, esta Directiva quedará derogada el 13 de junio de 2016 y será sustituida por la Directiva sobre equipos radioeléctricos (2014/53/UE). Con arreglo a las disposiciones transitorias, los equipos radioeléctricos que cumplan la Directiva 1999/5/CE podrán seguir comercializándose hasta el 13 de junio de 2017. La Directiva sobre equipos radioeléctricos se aplica a cualesquiera equipos que emiten o reciben intencionadamente ondas radioeléctricas a fines de radiocomunicación o radiodeterminación (utilización de las ondas radioeléctricas para determinar la posición, velocidad u otras características de un objeto, o información sobre tales propiedades). La Directiva sobre equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación tiene un ámbito de aplicación más amplio y, por ejemplo, también incluye los equipos destinados a la conexión a una red pública.

Ambas Directivas incorporan los mismos requisitos con respecto a la seguridad y la salud que las relativas a los materiales eléctricos de baja tensión (véase la sección G.3.1), pero sin restricción alguna de los límites de tensión.

G.3.4. Equipos médicos

Los equipos médicos electrónicos comercializados en la Unión Europea están sujetos al cumplimiento de las disposiciones de la Directiva sobre los productos sanitarios (93/42/CEE) o de la Directiva sobre los productos sanitarios implantables activos (90/385/CEE). Ambas Directivas se tratan con mayor detalle en las secciones E.2.1.1 (Directiva sobre los productos sanitarios implantables activos) y E.2.3 (Directiva sobre los productos sanitarios).

G.3.5. Equipos de protección individual (EPI)

Los equipos de protección individual comercializados en la Unión Europea están sujetos al cumplimiento de las disposiciones de la Directiva relativa a los equipos de protección individual (89/686/CEE). Con sujeción a exenciones específicas, los equipos de protección individual se definen, básicamente, como cualquier dispositivo o medio que vaya a llevar o del que vaya a disponer una persona para protegerla contra uno o varios riesgos que puedan amenazar su salud y su seguridad.

La Directiva relativa a los equipos de protección individual exige que solo puedan comercializarse y ponerse en servicio los EPI que garanticen la salud y la seguridad de los usuarios, cuando su mantenimiento sea adecuado y se utilicen de acuerdo con su finalidad. Los EPI no podrán poner en peligro ni la salud ni la seguridad de las demás personas, animales domésticos o bienes.

G.3.6. Seguridad general de los productos

La finalidad de la Directiva relativa a la seguridad general de los productos (2001/95/CE) consiste en garantizar la seguridad de los productos destinados al consumo. Si estos productos corresponden al ámbito de aplicación de una de las directivas del nuevo enfoque o el nuevo marco legislativo, las disposiciones de la Directiva específica primarán normalmente sobre las de la Directiva relativa a la seguridad general de los productos. Aunque la finalidad de la Directiva relativa a la seguridad general de los productos consiste en proteger a los consumidores, se aplica a los productos adquiridos para el uso de empresas, en tanto tales productos estén destinados al uso de los consumidores.

La Directiva relativa a la seguridad general de los productos exige que estos no presenten riesgo alguno o únicamente riesgos mínimos, compatibles con su uso previsto y considerados admisibles (dentro del respeto de un nivel elevado de protección de la salud y de la seguridad). Estos requisitos se aplican en todas las condiciones de uso razonablemente previsibles, lo que incluye la instalación, la puesta en servicio y el mantenimiento.

G.3.7. Compatibilidad electromagnética

Los equipos que puedan causar perturbaciones electromagnéticas o puedan verse afectados por estas y que se comercialicen o se pongan en servicio en la Unión Europea están sujetos al cumplimiento de las disposiciones de la Directiva sobre compatibilidad electromagnética (2004/108/CE). Esta Directiva ha sido refundida recientemente, y la nueva Directiva sobre compatibilidad electromagnética (2014/30/UE) entrará en vigor el 20 de abril de 2016, fecha en que quedará derogada la Directiva vigente. Todos los equipos comercializados antes del 20 de abril de 2016 y que cumplan la Directiva 2004/108/CE podrán seguir ofreciéndose en el mercado después de dicha fecha. Existen excepciones específicas al ámbito de aplicación de las Directivas, incluidos los equipos que corresponden al ámbito de aplicación de la Directiva sobre equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación (véase la sección G.3.3) y los equipos aeronáuticos. Los requisitos de compatibilidad electromagnética relativos a las aeronaves quedan cubiertos por el Reglamento (CE) nº 216/2008, mientras que a los vehículos de cuatro o más ruedas se les aplica el Reglamento (CE) nº 661/2009.

Las Directivas sobre compatibilidad electromagnética no contienen disposiciones referidas específicamente a la garantía de la seguridad y la salud de las personas. Sin embargo, sí contienen requisitos relativos a la limitación de las perturbaciones electromagnéticas, al objeto de evitar interferencias con otros equipos, y a la inmunidad de los equipos frente a las perturbaciones, de modo que se garantice que puedan funcionar en el entorno previsto sin un deterioro inaceptable de su funcionamiento. Estas disposiciones pueden tener repercusiones en materia de seguridad en relación con ciertos efectos indirectos.

G.4. Recomendación del Consejo Europeo

Con el fin de proteger al público en general, el Consejo de la Unión Europea adoptó una Recomendación relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (1999/519/CE). La Recomendación ofrece un marco para la protección del público de los efectos adversos para la salud que se sabe pueden resultar de la exposición a campos electromagnéticos. No se refiere a la protección de los trabajadores.

La Recomendación del Consejo no es vinculante, aunque establece un sistema de restricciones básicas, que son valores de magnitudes que no deben superarse y son conceptualmente equivalentes a los VLE de la Directiva CEM.

Como las restricciones básicas se establecen en la mayoría de los casos en forma de magnitudes internas dentro del cuerpo que no pueden medirse fácilmente, la Recomendación también establece un sistema de niveles de referencia relativos a magnitudes de campos externos, que son más fáciles de medir. Los niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas y aplican planteamientos conservadores, de manera que, si no se superan los primeros, tampoco se superarán las últimas. Sin embargo, toda vez que la derivación de los niveles de referencia presuponen las peores condiciones, es posible, a menudo, superar los niveles de referencia sin superar las restricciones básicas. Al respecto, los niveles de referencia son conceptualmente equivalentes a los niveles de actuación empleados en la Directiva CEM.

Al aplicar los sistemas de restricciones básicas y niveles de referencia, se recomienda a los Estados miembros que consideren los riesgos y las ventajas de las tecnologías que generan campos electromagnéticos. También se recomienda a los Estados miembros que faciliten información al público en general y que fomenten y revisen la investigación relativa a los efectos en la salud de los campos electromagnéticos.

La Recomendación del Consejo invita a la Comisión Europea a que contribuya a la protección del público en general. Se invita también a la Comisión a llevar a cabo el trabajo necesario para el establecimiento de normas europeas en apoyo del sistema de protección descrito, fomentar la investigación relativa a los efectos a corto y largo plazo de la exposición, promover la consecución de un consenso internacional en este ámbito y supervisar los asuntos tratados en la Recomendación.

El sistema de protección descrito en la Recomendación del Consejo se ha adoptado de manera generalizada como marco de protección del público en general. En concreto, los niveles de referencia especificados en la Recomendación del Consejo se han empleado como base para la gestión de la exposición en numerosas zonas de acceso público. Además, los niveles de referencia se han utilizado como base para la elaboración de normas relativas a la inmunidad electromagnética de los dispositivos médicos implantados activos.

APÉNDICE H.

NORMAS EUROPEAS E INTERNACIONALES

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (Cenelec) y otras autoridades de normalización han elaborado normas técnicas en materia de CEM.

El Cenelec ha elaborado ya una serie de normas de exposición profesional relativas a la evaluación de los CEM. Sin embargo, tales normas se elaboraron con el fin de determinar el cumplimiento de las disposiciones de la anterior Directiva CEM. Por ello, las normas de 2013 o anteriores no deben emplearse para evaluar el cumplimiento de la Directiva CEM vigente.

Sin embargo, ciertas normas vigentes contemplan que el cumplimiento se evalúe de conformidad con la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Con arreglo al artículo 4, apartado 6, de la Directiva CEM, no será necesario realizar la evaluación de la exposición en los lugares de trabajo abiertos al público, siempre que ya se haya procedido a una evaluación conforme a la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Esta disposición se supedita a que la exposición de los trabajadores respete las limitaciones especificadas con respecto al público y se descarten los riesgos para la salud y la seguridad.

El Cenelec también ha publicado normas sobre productos armonizadas con arreglo a diversas directivas sobre productos (véase la sección G.3). Las listas de normas armonizadas con arreglo a la directiva sobre productos correspondiente se publican en el apartado dedicado a las empresas del sitio web de la Comisión Europea. Los fabricantes y distribuidores pueden recurrir a estas normas para demostrar el cumplimiento de los requisitos de seguridad frente a los CEM. En caso de que los equipos estén destinados al uso del público y cumplan los requisitos de seguridad más estrictos que se imponen a tales equipos, y en tanto no se estén utilizando otros, se considerará que el lugar de trabajo cumple la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

Como se ha indicado anteriormente, en caso de que se elaboren normas, estas pertenecerán a una de las categorías siguientes: normas de emisión o normas de exposición.

- Las normas de emisión se relacionan con las emisiones de los equipos y ofrecen un medio a los fabricantes de demostrar que el campo emitido por un producto no superará un límite determinado. El límite será, por lo general, bien los NA o los VLE de la Directiva CEM o bien los valores de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Es importante que las evaluaciones se basen en el uso de los equipos con arreglo a las indicaciones del fabricante. Si los equipos no se usan con arreglo a dichas indicaciones, la evaluación podrá no ser válida.
- Las normas de evaluación de la exposición suelen ofrecer un medio normalizado de evaluar las exposiciones en sectores industriales concretos o en relación con tipos de tecnologías particulares. Las evaluaciones en el lugar de trabajo deben tener en cuenta cómo se utilizan los equipos y cubrir todos los aspectos del trabajo con aquellos, lo que incluye la limpieza y el mantenimiento.

En general, las normas de emisión tienen por objeto garantizar que la exposición agregada a la emisión de un dispositivo sea lo bastante baja como para que su uso, incluso en las inmediaciones de otros dispositivos emisores de CEM, no ocasione la superación de los límites de exposición.

Debe señalarse que tales normas se relacionan con la evaluación de equipos concretos, mientras que la Directiva CEM se refiere a la exposición de los trabajadores a todas las fuentes. Es posible que la exposición a más de una fuente que, por sí sola, cumpla la normativa, pueda dar lugar a una exposición personal combinada que supere un NA o un VLE. Sin embargo, los campos suelen perder intensidad rápidamente con el aumento de la distancia, de modo que, si los equipos están separados por una distancia amplia, los campos resultantes serán, normalmente, conformes.

El Cenelec está trabajando en la elaboración de nuevas normas técnicas que se centrarán en la consecución del cumplimiento de la Directiva CEM vigente. Estas normas se publicarán a medida que vayan aprobándose, aunque es probable que transcurra algún tiempo antes de que se elabore una serie completa. No obstante, cualquiera que precise llevar a cabo una evaluación deberá comprobar si hay disponible una norma pertinente a la Directiva CEM vigente.

En el Cenelec, el trabajo referido a la elaboración de nuevas normas de evaluación de la exposición lo lleva a cabo el Comité Técnico CLC/TC106X: campos electromagnéticos en el entorno humano. Los avances en la elaboración de nuevas normas pueden comprobarse en el apartado relativo al TC106X del sitio web del Cenelec.

APÉNDICE I. RECURSOS

I.1. Consultivos/reglamentarios

I.1.1. Unión Europea

País	Organización	Sitio web
Austria	Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz	www.bmask.gv.at/site
Bélgica	Service public fédéral Emploi, Travail et Concertation sociale/Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg	www.employment.belgium.be
Bulgaria	НЦОЗА (Centro Nacional de Sanidad Pública y Análisis)	ncphp.government.bg/en
Croacia	Ministarstvo rada i mirovinskoga sustava	www.mrms.hr
Chipre	ΥΕΠΚΑ (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social)	www.mlsi.gov.cy
Chequia	Ministerstvo práce a sociálních věcí	www.mpsv.cz/cs
Dinamarca	Arbejdstilsynet	www.at.dk
Estonia	Tööinspektsioon	www.ti.ee
Finlandia	Terveellinen työ	www.riskithaltuun.fi
Francia	Ministère du Travail, de l'Emploi, et du Dialogue social	www.travail.gouv.fr
Alemania	Bundesministerium für Arbeit und Soziales	www.bmas.bund.de
Grecia	Ministerio de Trabajo y Solidaridad Social	www.mathra.gr
Hungría	Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Igazgatóság (Instituto Nacional de Investigación en materia de biología y salubridad radiológicas)	www.osski.hu
Irlanda	Health and Safety Authority	www.hsa.ie
Italia	Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro	www.inail.it
Letonia	Valsts darba inspekcija	www.vdi.gov.lv
Lituania	Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministerija	www.socmin.lt/en
Luxemburgo	Inspection du travail et des mines	www.itm.lu/de/home.html
Malta	Occupational Health and Safety Authority	www.ohsa.org.mt
Países Bajos	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)	www.rivm.nl
Polonia	Centralny Instytut Ochrony Pracy — Państwowy Instytut Badawczy	www.ciop.pl
Portugal	Autoridade para as Condições de Trabalho	www.act.gov.pt
Rumanía	Institutul Național de Cercetare — Dezvoltare pentru Protecția Muncii	www.protectiamuncii.ro
Eslovaquia	Ministerstvo práce, sociálnych vecí a rodiny Slovenskej republiky	www.employment.gov.sk/en
Eslovenia	Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti	www.gov.si
España	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo	www.meyss.es
Suecia	Arbetsmiljöverket	www.av.se
Reino Unido	Health and Safety Executive Public Health England	www.hse.gov.uk www.gov.uk/government/organisations/public-health-england

I.1.2. Organizaciones internacionales

Organización	Sitio web
Comisión internacional sobre la protección contra la radiación no ionizante	www.icnirp.de
Organización Mundial de la Salud	www.who.int
Confederación Europea de Sindicatos	www.etuc.org
Alianza Europea de Salud Pública	www.epha.org
Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo	osha.europa.eu
Comisión Internacional de Medicina del Trabajo	www.icohweb.org

I.2. Asociaciones comerciales

Organización	Sitio web
Consejo de Empresarios Europeos de la Industria Metalúrgica e Industrias Basadas en la Ingeniería y la Tecnología	www.ceemet.org
Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles	www.acea.be
Euro Chlor	www.eurochlor.org
Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad, ENTSO-E	www.entsoe.eu
Comité Europeo de Coordinación de la Industria de las TIC Sanitarias, Electromédicas y Radiológicas (COCIR)	www.cocir.org
Unión de la Industria Eléctrica, EURELECTRIC	www.eurelectric.org

I.3. Documentos de orientación nacionales

País	Documentos
Bélgica	Ordinance No 7 for the minimal requirements for safety and health at work, State gazette No 88, 1999
Dinamarca	<p>The executive order no. 559 on 'The Performance of Work'</p> <p>The executive order no. 513 amending the executive order no. 559 on 'The Performance of Work'</p> <p>Ikke-ioniserende stråling, Vejledning om ikke-ioniserende stråling med frekvenser under 300 GHz D.6.1.1, Maj 2002</p> <p>At-VEJLEDNING, ARBEJDSSTEDETS INDRETNING — A.1.8, Gravide og ammendes arbejdsmiljø</p>
Estonia	Töökeskonna füüsikaliste ohutegurite piirnõrmi ja ohutegurite parameetrite mõõtmise kord
Finlandia	<p>Toimintamalli RF-kenttien aiheuttamissa tapaturmaisissa yliaistumistilanteissa, Tommi Alanko, Harri Lindholm, Soile Jungewelter, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen (2013), ISBN 978-952-261-349-3 (PDF, FI), ISBN 978-952-261-393-6 (PDF, EN)</p> <p>Sydäntahdistimen häiriötön toiminta työympäristön sähkömagneettisissa kentissä, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko, Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-212-0 (print) ISBN 978-952-261-213-7 (pdf, FI), ISBN 978-952-261-295-3 (pdf, EN)</p> <p>Turvallinen työskentely tukiasemien lähellä, Tommi Alanko, Maila Hietanen (2006), ISBN (vihko) 951-802-707-2, ISBN (PDF) 951-802-708-0</p> <p>Sähkömagneettiset kentät työympäristössä — Opaskirja työntekijöiden altistumisen arvioimiseksi, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh, Tommi Alanko, ISBN 951-802-614-9, ISSN 1458-9311</p> <p>Työntekijöiden altistuminen tukiasemien radiotaajuisille kentille, Tommi Alanko, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh (2006), ISBN 951-802-667-X, ISSN 1458-9311</p> <p>Sydäntahdistinpotilaan työhön paluun tukeminen — Sähkömagneettisten häiriöriskien hallinta, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko ja Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-204-5 (nid.) ISBN 978-952-261-205-2 (PDF)</p>
Francia	<p>Hygiène et sécurité du travail no 233 Décembre 2013 (Resistance Welding)</p> <p>INRS, Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques, Guide d'évaluation des risques</p>
Alemania	<p>BGV B11, Unfallverhütungsvorschrift, Elektromagnetische Felder</p> <p>BGR B11, Berufsgenossenschaftliche Regel, Elektromagnetische Felder</p> <p>BGI 5011, Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen</p> <p>BGI/GUV-I 5111, Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder</p> <p>IFA Report 4/2013, Elektromagnetische Felder an handgeführten Mittelfrequenz-/Inverter-Punktschweißzangen</p> <p>IFA-Report 5/2011, Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten</p> <p>IFA-Report 2/2009, Electromagnetic fields at handheld spot-welding guns</p> <p>Hannah Heinrich (2007). Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields, Health Physics, 92 (6)</p> <p>BMAS-Forschungsbericht FB 400-E, Electromagnetic fields at workplace, ISSN 0174-4992</p>

Grecia	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR), 50 Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014
Letonia	Atgāde par elektromagnētisko lauku, Aktualizēts 2011.gada jūnijā
Lituania	<p>Lithuanian Hygiene Norm (HN) 110: 2001. Electromagnetic field of 50 Hz frequency in work places. Permissible values of the parameters and measuring requirements' and labour No 660/174 of 21 December 2001</p> <p>Lithuanian Hygiene Norm (HN) 80: 2011. Electromagnetic field in working places and living environment. Permissible values of the parameters and measuring requirements in the 10 kHz to 300 GHz radiofrequency zone, approved by the order of minister of health and No V-199 of 2 March 2011</p> <p>Rules on determining electrostatic field strength permitted levels in working places approved by the order of minister of health and No 28 of 18 January 2001</p>
Luxemburgo	Conditions d'exploitation pour les émetteurs d'ondes électromagnétiques à haute fréquence, ITM-CL 179.4
Polonia	<p>EU Directive, ICNIRP Guidelines and Polish Legislation on Electromagnetic Fields, <i>International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)</i>, 12(2), 125–136</p> <p>Exposure of Workers to Electromagnetic Fields. A Review of Open Questions on Exposure Assessment Techniques, <i>International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)</i>, 15(1), 3–33</p>
Rumanía	MONITORUL OFICIAL AL ROMANIEI Anul 175 (XIX) — Nr. 645, Vineri, 21 septembrie 2007

I.4. Documentos de orientación industriales

Organización	Guía
Euro Chlor	Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units: Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions. HEALTH 3. 3a edición, 2014

APÉNDICE J. GLOSARIO Y ABREVIATURAS

J.1. Glosario

A prueba de fallos	Un componente a prueba de fallos es aquel cuya avería no supone un aumento del peligro, es decir, aunque falle las condiciones siguen siendo seguras. En modo de avería, el sistema deja de funcionar o no resulta peligroso.
Cierre de seguridad	Dispositivo mecánico, eléctrico o de otra índole cuya finalidad consiste en evitar el funcionamiento de determinado equipo en circunstancias específicas.
Comisión Internacional sobre la protección contra la radiación no ionizante (ICNIRP)	Organismo de expertos científicos cuya finalidad consiste en divulgar información y facilitar asesoramiento sobre los peligros para la salud potenciales que entraña la exposición a la radiación no ionizante.
Control de ingeniería	Medidas de seguridad de un diseño de ingeniería deliberado que deben emplearse como método fundamental para la reducción de la exposición a la radiación. Se trata de un medio físico de evitar el acceso a la radiación.
Corriente de contacto	Corriente eléctrica que circula por una persona al tocar esta un objeto conductor dentro de un campo electromagnético.
Densidad de corriente	Corriente eléctrica o flujo de carga eléctrica a través de un medio conductor, como un tejido, por unidad de superficie transversal. Unidad: amperio por metro cuadrado. Símbolo: A/m ² .
Densidad de potencia	Potencia de la radiación que incide en una superficie (Wm ⁻²).
Dieléctrico	Aislante eléctrico que puede polarizarse mediante un campo eléctrico aplicado.
Dipolo	Antena consistente en una barra conductora con el hilo conductor en su centro.
Dispositivo de cierre (véase Cierre de seguridad)	Dispositivo mecánico, eléctrico o de otra índole cuya finalidad consiste en evitar el funcionamiento de determinado equipo en circunstancias específicas.
Dispositivo de puente explosivo	Detonador que utiliza una corriente eléctrica para vaporizar un cable: la descarga y el calor resultantes producen la detonación del material explosivo circundante.
Dosimetría	Cálculo o evaluación del depósito de energía en el cuerpo humano.
Electrolisis industrial	Proceso empleado a gran escala en el que una corriente eléctrica desencadena una reacción química que, de otro modo, no se produciría de manera espontánea.
Espectro electromagnético	El espectro electromagnético es el intervalo de todas las posibles frecuencias de la radiación electromagnética. El espectro comprende desde las longitudes de onda corta, como los rayos x, hasta las radiaciones de longitud de onda mayor como las microondas y las ondas de televisión y radio, pasando por la radiación visible.
Excepción	La revocación parcial de una ley o un reglamento en circunstancias concretas.
Factor de riesgo	Producto de la probabilidad de que un suceso peligroso se produzca y el resultado o el daño que se desprenda de aquel.
Fosfenos	Luz centelleante que percibe una persona sin que haya luz que incida en sus ojos.
Frecuencia	El número de ciclos por unidad de tiempo de una oscilación. Símbolo: f. Unidad: Hz
Índice de exposición	La exposición observada dividida por el valor límite. Si el índice de exposición es inferior a uno, la exposición será conforme.
Inducción	La inducción (electromagnética) es la generación de una tensión a través de un conductor eléctrico al exponerse este a un campo magnético variable en el tiempo.
Inspección de partículas magnéticas	Método de detección de fisuras y otros defectos en un material magnético mediante el uso de polvo magnético y campos magnéticos.

Julio	Unidad de energía, equivalente al trabajo ejercido por una fuerza de un newton para desplazar un objeto a una distancia de un metro. Símbolo: J
Longitud de onda	Distancia entre puntos similares de los ciclos sucesivos de una onda. Unidad: metro. Símbolo: m.
Medidas administrativas	Medidas de seguridad de índole no técnica, tales como: control mediante llave, formación en seguridad y señales de advertencia.
Norma de producto	Documento que especifica las características esenciales de un producto y facilita así la uniformidad de su fabricación y su interoperabilidad.
Norma técnica	Documento que describe un método normalizado referido a un proceso.
Ortogonal	En ángulo recto (90 grados)
Peligro	Circunstancia que entraña el potencial de causar daño. El peligro puede ser para las personas, los bienes o el entorno.
Radiación de radiofrecuencia	Radiación electromagnética definida a menudo dentro del intervalo de frecuencias comprendido entre los 100 kHz y los 300 GHz.
Radiación electromagnética	La radiación electromagnética es una forma de radiación que incluye componentes de campo eléctrico y magnético y que puede describirse como ondas que se propagan a la velocidad de la luz. En ciertas circunstancias, la radiación electromagnética puede considerarse que existe en forma de partículas denominadas fotones.
Radiación no ionizante	Radiación que no produce ionización en los tejidos biológicos. A modo de ejemplo cabe citar la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja y la radiación de radiofrecuencia.
Riesgo	Probabilidad de que se produzca una lesión, un daño o un perjuicio.
Sinusoidal	Que varía de un modo que puede representarse mediante la función trigonométrica del seno.
Suceso razonablemente previsible	Suceso que, en determinadas circunstancias, puede predecirse con bastante precisión y cuya probabilidad de producirse o frecuencia no es baja o muy baja.
Tensión	Unidad de diferencia de potencial eléctrico. Símbolo: V.
Tomografía u obtención de imágenes por resonancia magnética	Técnica médica de obtención de imágenes que hace uso de campos magnéticos intensos y campos electromagnéticos de alta frecuencia para producir imágenes detalladas del interior del cuerpo.
Transmisión	El paso de radiación a través de un medio. Si no se absorbe toda la radiación, se dirá que la que pasa se ha transmitido. Depende de la longitud de onda, la polarización, la intensidad de la radiación y el material de transmisión.
Vatio	Unidad de potencia, equivalente a un julio de energía por segundo. Símbolo: W.
Walkie-talkie	Dispositivo de comunicación bidireccional portátil que opera en bandas de frecuencia que no precisan de licencia. Su denominación formal es emisor-receptor portátil.
Wi-Fi	Sistema para la conexión de equipos electrónicos, como ordenadores, a una red local mediante la comunicación de radiofrecuencia.

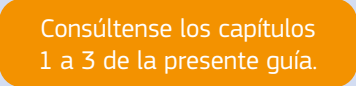
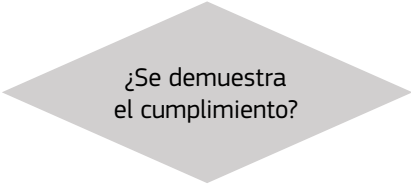
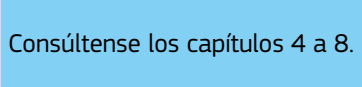
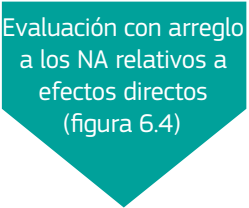
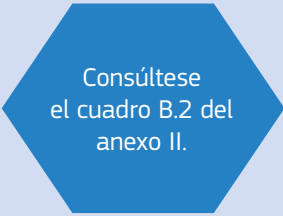
J.2. Abreviaturas

AM	Modulación de amplitud (por sus siglas en inglés)
CEM	Campo electromagnético
Cenelec	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
DECT	Telecomunicaciones digitales inalámbricas mejoradas (por sus siglas en inglés)
DMIA	Dispositivo médico implantado activo
DVD	Disco digital versátil (por sus siglas en inglés)
EI	Índice de exposición (por sus siglas en inglés)
ELF	Frecuencia extremadamente baja (por sus siglas en inglés)

FD	Diferencia finita (por sus siglas en inglés)
FDTD	Método de cálculo de diferencias finitas en el dominio temporal (por sus siglas en inglés)
FEM	Método del elemento finito (por sus siglas en inglés)
HF	Alta frecuencia (por sus siglas en inglés)
ICNIRP	Comisión Internacional sobre la protección contra la radiación no ionizante (por sus siglas en inglés)
IR	Infrarrojo
LF	Baja frecuencia (por sus siglas en inglés)
MF	Frecuencia media (por sus siglas en inglés)
MFR	Norma de las frecuencias múltiples (por sus siglas en inglés)
NA	Nivel de actuación
NSB	Normas de seguridad básicas
OIRA	Evaluación de riesgos interactiva en línea (por sus siglas en inglés)
PRA	Potencia radiada aparente
RC	Circuito de resistencia y capacidad (por sus siglas en inglés)
RF	Radiofrecuencia
RFID	Identificación por radiofrecuencia (por sus siglas en inglés)
RM	Tomografía u obtención de imágenes por resonancia magnética
RMN	Resonancia magnética nuclear
RMS	Valor cuadrático medio (por sus siglas en inglés)
SA	Absorción específica (por sus siglas en inglés)
SAR	Tasa de absorción específica de energía (por sus siglas en inglés)
SHF	Frecuencia súper alta o banda centimétrica (por sus siglas en inglés)
SNC	Sistema nervioso central
SPFD	Diferencia finita de potencial escalar (por sus siglas en inglés)
STD	(Señal) conformada en el dominio del tiempo (por sus siglas en inglés)
TETRA	Sistema europeo de radiocomunicaciones de radiotelefonía de grupo cerrado (por sus siglas en inglés)
TI	Tecnología de la información
TV	Televisión
UHF	Frecuencia ultra alta o banda decimétrica (por sus siglas en inglés)
UV	Ultravioleta
VHF	Frecuencia muy alta o banda métrica (por sus siglas en inglés)
VLE	Valor límite de exposición
VLF	Frecuencia muy baja o banda miriamétrica (por sus siglas en inglés)
WBSAR	SAR media para todo el cuerpo (por sus siglas en inglés)
WLAN	Red de área local inalámbrica (por sus siglas en inglés)
WPM	Método de ponderación de picos (por sus siglas en inglés)

J.3. Símbolos de los diagramas de flujo

Cuadro J.3. Símbolos de los diagramas de flujo empleados en la guía

Símbolo	Descripción	Significado en la presente guía
	Terminador	Indica el inicio y el final de un procedimiento.
	Decisión	Plantea una pregunta para guiar al usuario a través de dos vías alternativas, identificadas como «Sí» y «No».
	Proceso	Indica el proceso que se ha de emprender para avanzar.
	Conector de salida de página	Empleado para establecer un vínculo con otro diagrama de flujo. Estos presentan códigos cromáticos para indicar los puntos de entrada y de salida.
	Preparación	Indica al usuario que tiene que llevar a cabo un trabajo preparatorio para esta sección del diagrama de flujo. Se relaciona con un recuadro codificado cromáticamente.

APÉNDICE K. BIBLIOGRAFÍA

K.1. Capítulo 5: Evaluación de riesgos en el contexto de la Directiva CEM

Occupational Health and Safety Management Systems — Guidelines for the implementation of OHSAS 18001. PHSAS 18002:2000.

Forschungs Bericht 400-E, «Electromagnetic fields at workplaces — A new scientific approach to occupational health and safety». ISSN 0174-4992.

K.2. Capítulo 9: Medidas de protección y prevención

ISO (Organización Internacional de Normalización) (2011). Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs. ISO7010.

Melton, G. y Shaw, R. (2014), *Electromagnetic fields in the welding environment*, RR1018, HSE, Londres.

K.3. Capítulo 11: Riesgos, síntomas y vigilancia de la salud

Alanko, T., Lindholm, H., Jungewelter, S., Tiikkaja, M., y Hietanen, M. (2014), *Operating model for managing accidental overexposure to RF- fields*, Helsinki, Instituto de Salud en el Trabajo de Finlandia. ISBN 978-952-261-393-6.

K.4. Apéndice D: Evaluación de la exposición

De Santis, V., Chen, X. L., Laakso, I. y Hirata, A. (2013), «On the issues related to compliance of LF pulsed exposures with safety standards and guidelines», *Phys Med Biol*, Vol. 58, pp. 8597-8607.

HVBG (2001), Accident Prevention Regulation Electromagnetic Fields. BGVB11 <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/v-b11.pdf>

Heinrich, H. (2007), «Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields», *Health Phys.*, Vol. 92, Nº 6, pp. 541-6.

ICNIRP (1998), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic fields and electromagnetic fields (up to 300GHz)», *Health Phys.*, Vol. 74, Nº 4, pp. 494-522.

ICNIRP (2010), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz-100 kHz)», *Health Phys.*, Vol. 99, Nº 6, pp. 818-836.

ICNIRP (2014), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz», *Health Phys.*, Vol. 106, Nº 3, pp. 418-425.

ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).

Jokela, K. (2000), «Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields», *Health Phys.*, Vol. 79, Nº 4, pp. 373-88.

K.5. Apéndice E: Efectos indirectos y trabajadores con riesgos particulares

Asociación Alemana del Seguro Social frente Accidentes (2012). «Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder». BGI/GUV-I 5111.

NRPB (2004), «Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300GHz)», *Documents of the NRPB*, Vol. 15, Nº 3.

K.6. Apéndice F: Tomografía por resonancia magnética

Calamante, F., Faulkner W. H. Jr., Ittermann, B., Kanal, E., Kimbrell, V., Owman, T., Reeder, S. B., Sawyer, A. M., Shellock, F. G. y van den Brink, J. S. en representación de ISMRM Safety Committee (2014), «MR system operator: minimum requirements for performing MRI in human subjects in a research setting», *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, doi: 10.1002/jmri.24717.

Capstick, M., McRobbie, D., Hand, J., Christ, A., Kühn, S., Hansson Mild, K., Cabot, E., Li, Y., Melzer, A., Papadaki, A., Prüssmann, K., Quest, R., Rea, M., Ryf, S., Oberle, M. y Kuster, N. (2008), «An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipment», Informe de proyecto VT/2007/017.

Cenelec (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) (2010). Medical electrical equipment — Part 2-33: «Particular requirements for the basic safety and essential performance of magnetic resonance equipment for medical diagnosis». EN 60601-2-33.

ICNIRP (Comisión Internacional sobre la protección contra la radiación no ionizante) (2004), «Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients», *Health Phys.*, Vol. 87, pp. 197-216.

ICNIRP (2009), «Amendment to the ICNIRP “statement on medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients”», *Health Phys.*, Vol. 97, Nº 3, pp. 259-261.

McRobbie, D. W. (2012), «Occupational exposure in MRI», *Br J Radiol*, Vol. 85, pp. 293-312.

MRI Working Group (2008), *Using MRI safely — practical rules for employees*, RIVM, Bilthoven, Países Bajos.

Stam, R. (2008), *The EMF Directive and protection of MRI workers*, RIVM Report 610703001/2008, RIVM, Bilthoven, Países Bajos.

Stam, R. (2014), «The revised electromagnetic fields directive and worker exposure in environments with high magnetic flux densities», *Ann Occup Hyg*, Vol. 58, Nº 5, pp. 529-541.

APÉNDICE L.

DIRECTIVA 2013/35/UE

I

(Actos legislativos)

DIRECTIVAS

DIRECTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

de 26 de junio de 2013

sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos) (vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE), y por la que se deroga la Directiva 2004/40/CE

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea y, en particular, su artículo 153, apartado 2,

Vista la propuesta de la Comisión Europea,

Prevía transmisión del proyecto de acto legislativo a los Parlamentos nacionales,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social Europeo ⁽¹⁾,

Prevía consulta al Comité de las Regiones,

De conformidad con el procedimiento legislativo ordinario ⁽²⁾,

Considerando lo siguiente:

(1) De conformidad con el Tratado, el Parlamento Europeo y el Consejo pueden adoptar, mediante directivas, disposiciones mínimas destinadas a fomentar la mejora, en particular, del entorno de trabajo, para garantizar un mayor nivel de protección de la salud y la seguridad de los trabajadores. Tales directivas deben evitar establecer trabas de carácter administrativo, financiero y jurídico que obstaculicen la creación y el desarrollo de pequeñas y medianas empresas.

(2) Con arreglo al artículo 31, apartado 1, de la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea, todo trabajador tiene derecho a trabajar en condiciones que respeten su salud, seguridad y dignidad.

(3) Como consecuencia de la entrada en vigor de la Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos) (decimoctava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE) ⁽³⁾, las partes interesadas, en particular el colectivo médico, se mostraron muy preocupadas en cuanto a la posible incidencia de la aplicación de dicha Directiva en la utilización de procedimientos médicos basados en imágenes médicas. Se manifestó también preocupación en cuanto a la incidencia de la Directiva en determinadas actividades industriales.

(4) La Comisión examinó atentamente los argumentos presentados por las partes interesadas y, tras varias consultas, decidió replantearse seriamente algunas disposiciones de la Directiva 2004/40/CE, a partir de nuevos datos científicos facilitados por expertos de reconocimiento internacional.

(5) La Directiva 2004/40/CE fue modificada por la Directiva 2008/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo ⁽⁴⁾, en virtud de la cual se pospuso cuatro años el plazo de transposición de la primera, y posteriormente por la Directiva 2012/11/UE del Parlamento Europeo y del Consejo ⁽⁵⁾, en virtud de la cual se pospuso dicho plazo de transposición hasta el 31 de octubre de 2013. Esos aplazamientos permitirían a la Comisión presentar una nueva propuesta y los legisladores podrían adoptar una nueva directiva basada en datos más recientes y rigurosos.

(6) Se ha de derogar la Directiva 2004/40/CE e introducir medidas más adecuadas y proporcionadas que protejan a los trabajadores de los riesgos ligados a los campos electromagnéticos. Dicha Directiva no abordaba los efectos a largo plazo, entre ellos los posibles efectos cancerígenos

⁽¹⁾ DO C 43 de 15.2.2012, p. 47.

⁽²⁾ Posición del Parlamento Europeo de 11 de junio de 2013 (no publicada aún en el Diario Oficial) y Decisión del Consejo de 20 de junio de 2013.

⁽³⁾ DO L 159 de 30.4.2004, p. 1.

⁽⁴⁾ DO L 114 de 26.4.2008, p. 88.

⁽⁵⁾ DO L 110 de 24.4.2012, p. 1.

derivados de la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, en relación con los cuales no existen datos científicos concluyentes que establezcan un nexo causal. La presente Directiva tiene como finalidad abordar todos los efectos biofísicos directos conocidos y los efectos indirectos provocados por los campos electromagnéticos, no solo para garantizar la salud y la seguridad de cada trabajador por separado, sino también para crear una base mínima de protección para todos los trabajadores de la Unión, así como disminuir las posibles distorsiones de la competencia.

- (7) La presente Directiva no aborda los posibles efectos a largo plazo de la exposición a campos electromagnéticos, ya que actualmente no existen datos científicos comprobados que establezcan un nexo causal. No obstante, si apareciesen dichos datos científicos comprobados, la Comisión debería estudiar los medios más adecuados para abordarlos y mantener al Parlamento Europeo y al Consejo informados al respecto mediante su informe sobre la aplicación práctica de la presente Directiva. Al hacerlo, la Comisión tendrá en cuenta, además de la información adecuada que reciba de los Estados miembros, las últimas investigaciones disponibles y los conocimientos científicos nuevos derivados de los datos de este ámbito.
- (8) Es preciso establecer requisitos mínimos, que permitan a los Estados miembros mantener o adoptar disposiciones más favorables para la protección de los trabajadores, en particular mediante el establecimiento de valores más bajos para los niveles de actuación o los valores límite de exposición para los campos electromagnéticos. Sin embargo, la aplicación de la presente Directiva no debe servir para justificar retroceso alguno en relación con la situación ya existente en cada Estado miembro.
- (9) El sistema de protección contra campos electromagnéticos debe limitarse a definir, sin excesivos detalles, los objetivos que deben alcanzarse, los principios que han de observarse y los valores fundamentales que han de aplicarse para permitir que los Estados miembros apliquen las disposiciones mínimas de manera equivalente.
- (10) Para proteger a los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos es necesario llevar a cabo una evaluación de los riesgos efectiva y eficiente. No obstante, esta obligación debe ser proporcional a la situación en que se encuentra el lugar de trabajo. De ahí que convenga diseñar un sistema de protección que agrupe diferentes riesgos de manera sencilla, gradual y fácilmente comprensible. Por consiguiente, la referencia a una serie de indicadores y situaciones tipo, que deberán figurar en guías prácticas, puede ayudar a los empresarios a cumplir sus obligaciones.
- (11) Los efectos no deseados en el cuerpo humano dependen de la frecuencia del campo electromagnético o la radiación a la que el cuerpo esté expuesto. Por ello, los sistemas de limitación a la exposición deben estar en función

del nivel de exposición y de la frecuencia, para proteger adecuadamente a los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos.

- (12) El nivel de exposición a campos electromagnéticos puede reducirse de forma más eficaz mediante la aplicación de medidas preventivas en el diseño de los puestos de trabajo y dando prioridad, a la hora de seleccionar los equipos, procedimientos y métodos de trabajo, a la reducción de los riesgos en origen. De este modo, las disposiciones relativas a los equipos y métodos de trabajo contribuyen a proteger a los trabajadores que los utilizan. Es necesario, sin embargo, evitar la duplicación de evaluaciones cuando el material de trabajo cumple los requisitos establecidos en la correspondiente normativa de la Unión sobre productos, en la que se fijan unos niveles de seguridad más estrictos que los de la presente Directiva. Esto permite simplificar la evaluación en un gran número de casos.
- (13) Los empresarios deben adaptarse al progreso técnico y a los conocimientos científicos relativos a los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos, a fin de mejorar la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores.
- (14) Al ser la presente Directiva una Directiva específica a tenor del artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo ⁽¹⁾, la Directiva 89/391/CEE se aplica a la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos, sin perjuicio de disposiciones más rigurosas y/o específicas contenidas en la presente Directiva.
- (15) Las magnitudes físicas, los valores límite de exposición y los niveles de actuación establecidos en los anexos de la presente Directiva se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y deberían considerarse con arreglo a los conceptos de la ICNIRP, salvo cuando la presente Directiva establezca otra cosa.
- (16) A fin de garantizar que la presente Directiva se mantiene actualizada, deben delegarse en la Comisión los poderes para adoptar actos con arreglo al artículo 290 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, en relación con modificaciones puramente técnicas en los anexos, con el fin de reflejar la adopción de reglamentos y directivas en el ámbito de la armonización y normalización técnicas, el progreso técnico, los cambios en las normas o especificaciones más pertinentes y los nuevos datos científicos relativos a los riesgos que presentan los campos electromagnéticos, así como adaptar los niveles de actuación. Reviste especial importancia que la Comisión lleve a cabo las consultas oportunas durante la fase preparatoria, en particular con expertos. Al preparar y elaborar actos delegados, la Comisión debe garantizar que los documentos pertinentes se transmitan al Parlamento Europeo y al Consejo de manera simultánea, oportuna y adecuada.

⁽¹⁾ DO L 183 de 29.6.1989, p. 1.

- (17) En caso de que resulte necesario introducir modificaciones de carácter meramente técnico en los anexos, la Comisión debería trabajar en estrecha colaboración con el Comité Consultivo para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, establecido en la Decisión del Consejo de 22 de julio de 2003 ⁽¹⁾.
- (18) En casos excepcionales, cuando sea necesario por razones imperiosas de urgencia, como son los posibles riesgos inminentes para la salud y la seguridad de los trabajadores derivados de su exposición a campos electromagnéticos, debe ofrecerse la posibilidad de aplicar el procedimiento de urgencia a los actos delegados adoptados por la Comisión.
- (19) De conformidad con la Declaración política conjunta de los Estados miembros y de la Comisión sobre los documentos explicativos ⁽²⁾, de 28 de septiembre de 2011, los Estados miembros se han comprometido a adjuntar a la notificación de sus medidas de transposición, cuando esté justificado, uno o varios documentos que expliquen la relación entre los elementos de una directiva y las partes correspondientes de los instrumentos nacionales de transposición. Por lo que respecta a la presente Directiva, el legislador considera que la transmisión de tales documentos está justificada.
- (20) Siempre que sea aplicable, un sistema que incluya valores límite de exposición y niveles de actuación debe considerarse un medio para facilitar la prestación de un elevado nivel de protección contra los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad que puedan resultar de la exposición a campos electromagnéticos. Sin embargo, semejante sistema puede entrar en conflicto con condiciones específicas que se dan en determinadas actividades, como la utilización de las técnicas de resonancia magnética en el sector médico. Por tanto, es necesario tener en cuenta estas condiciones particulares.
- (21) Dadas las especificidades de las fuerzas armadas, y para permitirles un funcionamiento y una interoperabilidad efectivos, también en ejercicios militares internacionales conjuntos, los Estados miembros deben aplicar sistemas de protección equivalentes o más específicos, tales como las normas aprobadas internacionalmente, por ejemplo las normas de la OTAN, siempre que se eviten los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad.
- (22) Debe exigirse a los empresarios que garanticen la eliminación o reducción al mínimo de los riesgos derivados de los campos electromagnéticos en el trabajo. No obstante, es posible que, en determinados casos y en circunstancias debidamente justificadas, se excedan solo temporalmente los valores límite de exposición establecidos en la presente Directiva. En tales casos, los empresarios deben tomar las medidas necesarias para volver a cumplir los valores límite de exposición lo antes posible.
- (23) Un sistema que garantice un elevado nivel de protección por lo que se refiere a los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad que pueden resultar de la exposición a campos electromagnéticos debe tener debi-

damente en cuenta a grupos específicos de trabajadores que presenten un riesgo particular y evitar problemas de interferencia con dispositivos médicos tales como prótesis metálicas, marcapasos y desfibriladores cardíacos e implantes cocleares y de otro tipo, u otros dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo, o evitar efectos en el funcionamiento de tales dispositivos. Los problemas de interferencia, en particular con marcapasos, pueden ocurrir a niveles inferiores a los niveles de actuación y, por tanto, deben ser objeto de medidas preventivas y de protección adecuadas.

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1

Objeto y ámbito de aplicación

1. La presente Directiva, que es la vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE, establece disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para la salud y la seguridad derivados o que puedan derivarse de la exposición a campos electromagnéticos en el trabajo.

2. La presente Directiva aborda todos los efectos biofísicos directos conocidos y los efectos indirectos causados por campos electromagnéticos.

3. Los valores límite de exposición establecidos en la presente Directiva se refieren únicamente a los vínculos comprobados científicamente entre los efectos biofísicos directos a corto plazo y la exposición a los campos electromagnéticos.

4. La presente Directiva no aborda los posibles efectos a largo plazo.

La Comisión examinará los últimos avances científicos. En caso de que se disponga de datos científicos comprobados sobre posibles efectos a largo plazo, estudiará una respuesta política adecuada que incluya, en su caso, la presentación de una propuesta legislativa para abordar dichos efectos. La Comisión mantendrá al Parlamento Europeo y al Consejo informados al respecto mediante su informe sobre la aplicación práctica de la presente Directiva, contemplado en el artículo 15.

5. La presente Directiva no aborda los riesgos derivados del contacto con conductores en tensión.

6. La Directiva 89/391/CEE continuará aplicándose plenamente a la totalidad del ámbito contemplado en el apartado 1, sin perjuicio de disposiciones más rigurosas o específicas contenidas en la presente Directiva.

Artículo 2

Definiciones

A efectos de la presente Directiva, se entenderá por:

- a) «campos electromagnéticos»: los campos eléctricos estáticos, los campos magnéticos estáticos y los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias de hasta 300 GHz;

⁽¹⁾ DO C 218 de 13.9.2003, p. 1.

⁽²⁾ DO C 369 de 17.12.2011, p. 14.

- b) «efectos biofísicos directos»: los efectos en el cuerpo humano causados directamente por su presencia en un campo electromagnético, entre ellos:
- i) efectos térmicos, como el calentamiento de los tejidos por la absorción en los mismos de energía procedente de campos electromagnéticos,
 - ii) efectos no térmicos, como la estimulación de los músculos, de los nervios o de los órganos sensoriales; estos efectos podrían ser perjudiciales para la salud física y mental de los trabajadores expuestos; además, la estimulación de los órganos sensoriales podría dar lugar a síntomas transitorios, como vértigo o fosfenos. Estos efectos podrían provocar molestias temporales o afectar al conocimiento o a otras funciones cerebrales o musculares y, por tanto, podrían repercutir en la capacidad del trabajador para trabajar de manera segura es decir, riesgos para la seguridad, y
 - iii) corrientes en las extremidades;
- c) «efectos indirectos»: efectos causados por la presencia de un objeto en un campo electromagnético que pueda entrañar un riesgo para la salud o la seguridad, como:
- i) interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos (incluidos los marcapasos cardíacos y otros implantes o dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo),
 - ii) riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos,
 - iii) activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores),
 - iv) incendios y explosiones resultantes de la ignición de materiales inflamables mediante chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas de chispas, y
 - v) corrientes de contacto;
- d) «valores límite de exposición»: los valores que se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas, en particular sobre la base de efectos directos agudos y a corto plazo comprobados científicamente, por ejemplo los efectos térmicos y la estimulación eléctrica de los tejidos;
- e) «valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud»: aquellos valores límite de exposición por encima de los cuales los trabajadores pueden sufrir efectos adversos para la salud, como el calentamiento térmico o la estimulación del tejido nervioso y muscular;
- f) «valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales»: aquellos valores límite de exposición por encima de los cuales los trabajadores pueden estar sometidos a trastornos transitorios de las percepciones sensoriales y a pequeños cambios en las funciones cerebrales;

- g) «niveles de actuación»: los niveles operativos establecidos para simplificar la demostración del cumplimiento de los valores límite de exposición correspondientes o, en su caso, para tomar las medidas de protección o prevención correspondientes establecidas en la presente Directiva.

La terminología relativa a los niveles de actuación usada en el anexo II es la siguiente:

- i) para los campos eléctricos, se entenderá por «niveles de actuación inferiores» y «niveles de actuación superiores» los niveles relacionados con medidas específicas de protección o prevención establecidas en la presente Directiva, y
- ii) para los campos magnéticos, se entenderá por «niveles de actuación inferiores» los niveles correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales y por «niveles de actuación superiores», los correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud.

Artículo 3

Valores límite de exposición y niveles de actuación

1. Las magnitudes físicas relativas a la exposición a campos electromagnéticos se indican en el anexo I. Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales y los niveles de actuación figuran en los anexos II y III.
 2. Los Estados miembros exigirán al empresario que garantice que la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos no supere los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales, que figuran en el anexo II para los efectos no térmicos y en el anexo III para los efectos térmicos. Deberá demostrarse el cumplimiento de los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales mediante los procedimientos pertinentes de evaluación de la exposición contemplados en el artículo 4. Si la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos supera los valores límite de exposición, el empresario tomará medidas inmediatas con arreglo al artículo 5, apartado 8.
 3. A efectos de la presente Directiva, cuando se demuestre que no se superan los niveles de actuación correspondientes que figuran en los anexos II y III, se considerará que el empresario cumple los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales. Si la exposición supera los niveles de actuación, el empresario tomará medidas con arreglo al artículo 5, apartado 2, a menos que la evaluación realizada con arreglo al artículo 4, apartados 1, 2 y 3, demuestre que no se superan los valores límite de exposición correspondientes y que pueden descartarse los riesgos para la seguridad.
- Sin perjuicio del párrafo primero, la exposición podrá superar:
- a) los niveles de actuación inferiores para los campos eléctricos (anexo II, cuadro B1), cuando lo justifiquen la práctica o el proceso, siempre que, o bien no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (anexo II, cuadro A3), o bien:
 - i) no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud (anexo II, cuadro A2),

- ii) se prevengan las descargas de chispa excesivas y las corrientes de contacto (anexo II, cuadro B3) mediante las medidas específicas de protección establecidas en el artículo 5, apartado 6, y
 - iii) se haya facilitado información sobre las situaciones a que se refiere el artículo 6, letra f);
- b) los niveles de actuación inferiores para los campos magnéticos (anexo II, cuadro B2), cuando se justifique por la práctica o el proceso, incluidos la cabeza y el torso, durante el turno de trabajo, siempre que, o bien no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (anexo II, cuadro A3), o bien:
- i) la superación de los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales sea temporal solamente,
 - ii) no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud (anexo II, cuadro A2),
 - iii) se actúe, con arreglo al artículo 5, apartado 9, cuando aparezcan los síntomas transitorios mencionados en la letra a) de dicho apartado, y
 - iv) se haya facilitado información sobre las situaciones a que se refiere el artículo 6, letra f).
4. Sin perjuicio de los apartados 2 y 3, la exposición podrá superar:
- a) los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (anexo II, cuadro A1) durante el turno de trabajo, cuando se justifique por la práctica o el proceso, siempre que:
- i) la superación sea temporal solamente,
 - ii) no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud (anexo II, cuadro A1),
 - iii) se hayan adoptado medidas de protección específicas con arreglo al artículo 5, apartado 7,
 - iv) se actúe, con arreglo al artículo 5, apartado 9, cuando aparezcan los síntomas transitorios mencionados en la letra b) de dicho apartado, y
 - v) se haya facilitado información sobre las situaciones a que se refiere el artículo 6, letra f);
- b) los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (anexo II, cuadro A3, y anexo III, cuadro A2) durante el turno de trabajo, cuando se justifique por la práctica o el proceso, siempre que:
- i) la superación sea temporal solamente,
 - ii) no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud (anexo II, cuadro A2, y anexo III, cuadros A1 y A3),
 - iii) se actúe, con arreglo al artículo 5, apartado 9, cuando aparezcan los síntomas transitorios mencionados en la letra a) de dicho apartado, y

- iv) se haya facilitado información sobre las situaciones a que se refiere el artículo 6, letra f).

CAPÍTULO II

OBLIGACIONES DE LOS EMPRESARIOS

Artículo 4

Evaluación de los riesgos y determinación de la exposición

1. Para el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el artículo 6, apartado 3, y en el artículo 9, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE, el empresario deberá evaluar todos los riesgos para los trabajadores que se deriven de los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo, y, si es necesario, medir o calcular los niveles de los campos electromagnéticos a que estén expuestos los trabajadores.

Sin perjuicio del artículo 10 de la Directiva 89/391/CEE ni del artículo 6 de la presente Directiva, dicha evaluación podrá hacerse pública si así se solicita, de conformidad con las normas de la Unión y nacionales aplicables. En particular, en caso de tratamiento de los datos personales de los trabajadores en el curso de este tipo de evaluación, cualquier publicación cumplirá con lo dispuesto en la Directiva 95/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de octubre de 1995, relativa a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos ⁽¹⁾, así como la legislación nacional de los Estados miembros por la que se aplica esta Directiva. Salvo que exista un interés público superior en la publicación, las autoridades públicas que posean una copia de la evaluación podrán denegar una solicitud de acceso a la misma o una solicitud de que se haga pública, cuando su publicidad pudiese menoscabar la protección de los intereses comerciales del empresario, incluidos los de propiedad intelectual e industrial. Los empresarios podrán negarse a divulgar o a hacer pública la evaluación en las mismas condiciones, de conformidad con las normas de la Unión y nacionales aplicables.

2. A efectos de la evaluación que se establece en el apartado 1 del presente artículo, el empresario identificará y evaluará los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo, teniendo en cuenta las guías prácticas correspondientes a que se refieren el artículo 14 y otras normas o directrices aplicables que facilite el Estado miembro de que se trate, incluidas las bases de datos sobre exposiciones. No obstante las obligaciones del empresario previstas en el presente artículo, el empresario podrá asimismo, cuando proceda, tener en cuenta los niveles de emisión y otros datos adecuados relacionados con la seguridad que el fabricante o distribuidor facilite, para el material, de acuerdo con la correspondiente normativa de la Unión, incluida una evaluación de riesgos, si fuera aplicable a las condiciones de exposición en el lugar de trabajo o en las instalaciones.

3. Si el cumplimiento de los valores límite de exposición no puede determinarse de manera fiable basándose en información fácilmente accesible, la evaluación de la exposición se realizará basándose en mediciones o cálculos. En este caso, la evaluación tendrá en cuenta las incertidumbres relativas a las mediciones o cálculos, como los errores numéricos, la modelización de fuentes, la geometría espectral y las propiedades eléctricas de tejidos y materiales determinadas con arreglo a las buenas prácticas correspondientes.

⁽¹⁾ DO L 281 de 23.11.1995, p. 31.

4. Llevarán a cabo la planificación y la realización de la evaluación, la medición y el cálculo a que se refieren los apartados 1, 2 y 3 del presente artículo servicios o personas competentes a intervalos adecuados, teniendo en cuenta las directrices establecidas en la presente Directiva y, en particular, los artículos 7 y 11 de la Directiva 89/391/CEE relativas a los servicios o personas competentes necesarios y a la consulta y participación de los trabajadores. Los datos obtenidos en la evaluación, la medición o el cálculo del nivel de exposición se conservarán en una forma adecuada que permita garantizar el seguimiento y su consulta posterior, con arreglo a la normativa y práctica nacionales.

5. Al realizar la evaluación de los riesgos conforme a lo dispuesto en el artículo 6, apartado 3, de la Directiva 89/391/CEE, el empresario prestará especial atención a los siguientes aspectos:

- a) los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales y los niveles de actuación a que hacen referencia el artículo 3 y los anexos II y III de la presente Directiva;
- b) la frecuencia, el nivel, la duración y el tipo de exposición, incluida la distribución en el cuerpo de los trabajadores y en el espacio de trabajo;
- c) cualesquiera efectos biofísicos directos;
- d) cualquier efecto sobre la salud y la seguridad de los trabajadores que presentan un riesgo particular, en especial los que llevan implantados dispositivos médicos activos o pasivos, como marcapasos cardíacos, los trabajadores con dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo, como bombas de insulina, o las trabajadoras embarazadas;
- e) cualquier efecto indirecto;
- f) la existencia de equipos sustitutivos diseñados para reducir los niveles de exposición a campos electromagnéticos;
- g) la información apropiada obtenida de la vigilancia de la salud mencionada en el artículo 8;
- h) la información facilitada por el fabricante del equipo;
- i) cualquier otra información pertinente sobre salud y seguridad;
- j) las fuentes de exposición múltiples;
- k) la exposición simultánea a campos de frecuencias múltiples.

6. No será necesario realizar la evaluación de la exposición en los lugares de trabajo abiertos al público, siempre que ya se haya procedido a una evaluación conforme a las disposiciones sobre limitación de la exposición del público en general a los campos electromagnéticos, se respeten las limitaciones especificadas en las mismas con respecto a los trabajadores y se descarten los riesgos para la salud y la seguridad. Se considerará que estos requisitos se cumplen cuando los equipos destinados al uso público se utilicen conforme a su finalidad y a normativa de la Unión relativa a productos que establezca niveles de seguridad más estrictos que los previstos en la presente Directiva, y no se utilice ningún otro equipo.

7. El empresario deberá disponer de una evaluación de los riesgos de conformidad con el artículo 9, apartado 1, letra a), de la Directiva 89/391/CEE, y determinará las medidas que deban adoptarse con arreglo al artículo 5 de la presente Directiva. La evaluación de los riesgos podrá incluir las razones por las que el empresario considera que la naturaleza y el alcance de los riesgos relacionados con los campos electromagnéticos hacen innecesaria una evaluación más detallada de los mismos. La evaluación de los riesgos se actualizará periódicamente, en particular si se han producido cambios significativos que la podrían dejar desfasada, o siempre que los resultados de la vigilancia de la salud mencionados en el artículo 8 pongan de manifiesto su necesidad.

Artículo 5

Disposiciones encaminadas a evitar o reducir riesgos

1. Teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas para controlar la producción de campos electromagnéticos en origen, el empresario deberá adoptar las medidas necesarias para garantizar que los riesgos derivados de los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo se eliminen o se reduzcan al mínimo.

La reducción de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos se basará en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 6, apartado 2, de la Directiva 89/391/CEE.

2. Sobre la base de la evaluación de los riesgos contemplada en el artículo 4, cuando se superen los niveles de actuación pertinentes a que se refieren el artículo 3 y los anexos II y III, salvo que la evaluación realizada de conformidad con el artículo 4, apartados 1, 2 y 3, demuestre que no se superan los valores límite de exposición correspondientes y que pueden descartarse los riesgos para la seguridad, el empresario elaborará y aplicará un plan de actuación que incluya medidas técnicas u organizativas destinadas a evitar que la exposición supere los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud o con efectos sensoriales, teniendo en cuenta, en particular:

- a) otros métodos de trabajo que conlleven una exposición menor a campos electromagnéticos;
- b) la elección de equipos que generen campos electromagnéticos menos intensos, teniendo en cuenta el trabajo al que se destinan;
- c) medidas técnicas para reducir la emisión de campos electromagnéticos, incluido, cuando sea necesario, el uso de sistemas de bloqueo, el blindaje o mecanismos similares de protección de la salud;
- d) medidas adecuadas de delimitación y acceso, como señales, etiquetas, marcas en el suelo, barreras para limitar o controlar el acceso;
- e) en caso de exposición a campos eléctricos, medidas y procedimientos para controlar las descargas de chispas y las corrientes de contacto, mediante métodos técnicos y formación de los trabajadores;

- f) programas adecuados de mantenimiento de los equipos de trabajo, los lugares de trabajo y los puestos de trabajo;
- g) el diseño y la disposición de los lugares y puestos de trabajo;
- h) la limitación de la duración e intensidad de la exposición, y
- i) la disponibilidad de equipos adecuados de protección personal.

3. A partir de la evaluación de los riesgos contemplada en el artículo 4, el empresario elaborará y aplicará un plan de actuación que incluya medidas técnicas u organizativas destinadas a evitar riesgos para los trabajadores con riesgos particulares y cualesquiera riesgos debidos a los efectos indirectos a que hace referencia el artículo 4.

4. Además de facilitar la información prevista en el artículo 6 de la presente Directiva, y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 15 de la Directiva 89/391/CEE, el empresario adaptará las medidas contempladas en el presente artículo a las necesidades de los trabajadores con riesgos particulares y, en su caso, a las evaluaciones de riesgos individuales, en particular en relación con los trabajadores que hayan declarado que llevan dispositivos médicos activos o pasivos implantados, como marcapasos cardíacos, o que llevan dispositivos médicos en el cuerpo, como bombas de insulina, o con respecto a trabajadoras embarazadas que hayan informado al empresario de su estado.

5. A partir de la evaluación de los riesgos contemplada en el artículo 4, los lugares de trabajo en los que exista la posibilidad de que los trabajadores vayan a estar expuestos a campos electromagnéticos que superen los niveles de actuación se señalarán adecuadamente de conformidad con lo dispuesto en los anexos II y III y en la Directiva 92/58/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo (novena Directiva particular con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE) ⁽¹⁾. Las zonas en cuestión se identificarán adecuadamente y se limitará el acceso a ellas en caso necesario. Cuando el acceso a estas zonas esté limitado adecuadamente por otros motivos y los trabajadores estén informados de los riesgos derivados de campos electromagnéticos, no serán necesarias señalizaciones ni restricciones de acceso específicas para los campos electromagnéticos.

6. Cuando sea de aplicación el artículo 3, apartado 3, letra a), se adoptarán medidas específicas de protección, como la formación de trabajadores con arreglo al artículo 6, y el uso de medios técnicos y de protección personal, por ejemplo la puesta a tierra de los objetos de trabajo, la conexión de los trabajadores con los objetos de trabajo (conexión equipotencial), y, cuando corresponda y con arreglo al artículo 4, apartado 1, letra a), de la Directiva 89/656/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual (tercera Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE) ⁽²⁾, el uso de calzado aislante, guantes y ropa de protección.

7. Cuando sea de aplicación el artículo 3, apartado 4, letra a), se adoptarán medidas específicas de protección como el control de los movimientos.

8. La exposición de los trabajadores no deberá superar los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales, a menos que se cumplan las condiciones establecidas en el artículo 10, apartado 1, letras a) o c), o en el artículo 3, apartados 3 o 4. Si, a pesar de las medidas adoptadas por el empresario, se superan los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales, el empresario intervendrá con carácter inmediato para reducir la exposición a niveles inferiores a dichos valores límite. El empresario determinará y registrará las causas por las que se han superado los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales, y modificará en consecuencia las medidas de protección y prevención, para evitar que se vuelvan a superar. Las medidas de prevención y protección modificadas se conservarán en una forma adecuada que permita garantizar el seguimiento y su consulta posterior, con arreglo a la normativa y práctica nacionales.

9. Cuando sea de aplicación el artículo 3, apartados 3 y 4, y cuando un trabajador informe de síntomas transitorios, el empresario actualizará, si fuera necesario, la evaluación de riesgos y las medidas de prevención. Entre los síntomas transitorios pueden encontrarse:

- a) percepciones sensoriales y efectos en el funcionamiento del sistema nervioso central en la cabeza, producidos por campos magnéticos variables en el tiempo, y
- b) efectos del campo magnético estático, como vértigo y náuseas.

Artículo 6

Información y formación de los trabajadores

Sin perjuicio de lo dispuesto en los artículos 10 y 12 de la Directiva 89/391/CEE, el empresario velará por que aquellos trabajadores que puedan verse expuestos a riesgos derivados de campos electromagnéticos en el trabajo o sus representantes reciban toda información y formación necesarias sobre el resultado de la evaluación de los riesgos contemplada en el artículo 4 de la presente Directiva, en particular sobre:

- a) las medidas adoptadas en aplicación de la presente Directiva;
- b) los valores y conceptos de los valores límite de exposición y los niveles de actuación, los posibles riesgos asociados y las medidas preventivas adoptadas;
- c) los posibles efectos indirectos de la exposición;
- d) los resultados de la evaluación, la medición o los cálculos de los niveles de exposición a campos electromagnéticos efectuados de conformidad con el artículo 4 de la presente Directiva;
- e) la forma de detectar los efectos adversos para la salud derivados de la exposición y el modo de informar sobre ellos;
- f) la posibilidad de que surjan síntomas y sensaciones pasajeros relacionados con los efectos en el sistema nervioso central o periférico;

⁽¹⁾ DO L 245 de 26.8.1992, p. 23.

⁽²⁾ DO L 393 de 30.12.1989, p. 18.

- g) las circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de la salud;
- h) las prácticas de trabajo seguras para reducir al mínimo los riesgos derivados de la exposición;
- i) los trabajadores con riesgos particulares, como se contempla en el artículo 4, apartado 5, letra d), y en el artículo 5, apartados 3 y 4, de la presente Directiva.

Artículo 7

Consulta y participación de los trabajadores

La consulta y la participación de los trabajadores y/o de sus representantes tendrán lugar de conformidad con el artículo 11 de la Directiva 89/391/CEE.

CAPÍTULO III

DISPOSICIONES VARIAS

Artículo 8

Vigilancia de la salud

1. Con el fin de prevenir y diagnosticar lo antes posible cualquier efecto adverso para la salud derivado de la exposición a campos electromagnéticos, se llevará a cabo una adecuada vigilancia de la salud de conformidad con el artículo 14 de la Directiva 89/391/CEE. Se regularán los historiales médicos y su disponibilidad con arreglo a la normativa o a la práctica nacionales.

2. De conformidad con la normativa y práctica nacionales, los resultados de la vigilancia de la salud se conservarán de tal forma que sea posible su consulta ulterior, siempre que se cumpla el deber de confidencialidad. Los trabajadores que lo soliciten tendrán acceso a su propio historial médico personal.

Si un trabajador informa de un efecto indeseado o inesperado para la salud, o en cualquier caso en que se detecte una exposición superior a los valores límite de exposición, el empresario velará por que el trabajador afectado reciba los exámenes médicos o la vigilancia individual de la salud adecuados, de conformidad con la normativa y práctica nacionales.

Dichos exámenes o vigilancia deberán estar disponibles durante las horas que elija el trabajador, y ninguno de los costes que de ellos se deriven correrá a cargo del trabajador.

Artículo 9

Sanciones

Los Estados miembros establecerán sanciones adecuadas que se aplicarán en caso de infracción de la legislación nacional adoptada en aplicación de la presente Directiva. Las sanciones deberán ser eficaces, proporcionadas y disuasorias.

Artículo 10

Excepciones

1. Como excepción a lo establecido en el artículo 3, pero sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo 5, apartado 1, será de aplicación lo siguiente:

- a) la exposición podrá superar los valores límite de exposición si está relacionada con la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de imágenes por resonancia magnética (IRM) para pacientes en el ámbito sanitario, siempre y cuando se cumplan todas las condiciones siguientes:
 - i) que la evaluación de los riesgos realizada de conformidad con el artículo 4 haya demostrado que se han superado los valores límite de exposición,
 - ii) que, habida cuenta del estado de la técnica, se hayan aplicado todas las medidas técnicas u organizativas,
 - iii) que las circunstancias justifiquen debidamente la superación de los valores límite de exposición,
 - iv) que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, el equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y
 - v) que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, en particular asegurándose de que se siguen las instrucciones de uso seguro facilitadas por el fabricante de conformidad con la Directiva 93/42/CEE del Consejo, de 14 de junio de 1993, relativa a los productos sanitarios ⁽¹⁾;
- b) los Estados miembros podrán autorizar que se aplique un sistema de protección equivalente o más específico para el personal que trabaje en instalaciones militares operativas o que participe en actividades militares, incluidos los ejercicios militares internacionales conjuntos, siempre que se prevengan los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad;
- c) los Estados miembros podrán permitir, en circunstancias debidamente justificadas y solo en tanto se mantenga la debida justificación, que se superen temporalmente los valores límite de exposición en sectores específicos o para actividades específicas ajenas al ámbito de aplicación de las letras a) y b). A efectos de la presente letra, se entenderá por «circunstancias debidamente justificadas» aquellas en las que se cumplan los siguientes criterios:
 - i) que la evaluación de los riesgos realizada de conformidad con el artículo 4 haya puesto de manifiesto que se han superado los valores límite de exposición,
 - ii) que, habida cuenta del estado de la técnica, se hayan aplicado todas las medidas técnicas u organizativas,
 - iii) que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, el equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y
 - iv) que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, también mediante el uso de normas y directrices comparables, más específicas y reconocidas internacionalmente.

⁽¹⁾ DO L 169 de 12.7.1993, p. 1.

2. Los Estados miembros informarán a la Comisión de cualquier excepción prevista en el apartado 1, letras b) y c), y expondrán los motivos que la justifican en el informe a que se hace referencia en el artículo 15.

Artículo 11

Modificaciones técnicas de los anexos

1. Se otorgan a la Comisión los poderes para adoptar actos delegados con arreglo al artículo 12, con el fin de introducir modificaciones de carácter puramente técnico en los anexos, al objeto de:

- a) tener en cuenta la adopción de reglamentos y directivas en materia de armonización técnica y de normalización relativas a la concepción, construcción, fabricación o realización de equipos o lugares de trabajo;
- b) tener en cuenta el progreso técnico, la evolución de las normas o especificaciones más importantes y los nuevos datos científicos sobre los campos electromagnéticos;
- c) adaptar los niveles de actuación cuando aparezcan nuevas pruebas científicas, a condición de que los empresarios continúen estando obligados a respetar los valores límite de exposición existentes, establecidos en los anexos II y III;

2. La Comisión adoptará un acto delegado, de acuerdo con el artículo 12, para incluir en el anexo II, en cuanto disponga de ellas, las Directrices de la ICNIRP sobre los límites de exposición a los campos eléctricos inducidos por el movimiento del cuerpo humano en un campo magnético estático y por campos magnéticos variables en el tiempo por debajo de 1 Hz.

3. Cuando las modificaciones a que se refieren los apartados 1 y 2 sean necesarias por razones imperiosas de urgencia, se aplicará a los actos delegados adoptados en virtud del presente artículo el procedimiento previsto en el artículo 13.

Artículo 12

Ejercicio de la delegación

1. Se otorgan a la Comisión los poderes para adoptar actos delegados en las condiciones establecidas en el presente artículo.

2. Los poderes para adoptar actos delegados mencionados en el artículo 11 se otorgan a la Comisión por un período de cinco años a partir del 29 de junio de 2013. La Comisión elaborará un informe sobre la delegación de poderes a más tardar nueve meses antes de que finalice el período de cinco años. La delegación de poderes se prorrogará tácitamente por períodos de idéntica duración, excepto si el Parlamento Europeo o el Consejo se oponen a dicha prórroga a más tardar tres meses antes del final de cada período.

3. La delegación de poderes mencionada en el artículo 11 podrá ser revocada en cualquier momento por el Parlamento Europeo o por el Consejo. La decisión de revocación pondrá término a la delegación de los poderes que en ella se especificuen. La decisión surtirá efecto al día siguiente de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea* o en una fecha posterior indicada en la misma. No afectará a la validez de los actos delegados que ya estén en vigor.

4. Tan pronto como la Comisión adopte un acto delegado lo notificará simultáneamente al Parlamento Europeo y al Consejo.

5. Los actos delegados adoptados en virtud del artículo 11 entrarán en vigor únicamente si, en un plazo de dos meses desde su notificación al Parlamento Europeo y al Consejo, ni el Parlamento Europeo ni el Consejo formulan objeciones o si, antes del vencimiento de dicho plazo, tanto el uno como el otro informan a la Comisión de que no las formularán. El plazo se prorrogará dos meses a iniciativa del Parlamento Europeo o del Consejo.

Artículo 13

Procedimiento de urgencia

1. Los actos delegados adoptados de conformidad con el presente artículo entrarán en vigor inmediatamente y serán aplicables en tanto no se formule ninguna objeción con arreglo al apartado 2. La notificación de un acto delegado al Parlamento Europeo y al Consejo expondrá los motivos de salud y protección de los trabajadores por los cuales se ha aplicado el procedimiento de urgencia.

2. Tanto el Parlamento Europeo como el Consejo podrán formular objeciones a un acto delegado de conformidad con el procedimiento a que se refiere el artículo 12, apartado 5. En tal caso, la Comisión derogará el acto sin demora alguna tras la notificación de la decisión del Parlamento Europeo o del Consejo de formular objeciones.

CAPÍTULO IV

DISPOSICIONES FINALES

Artículo 14

Guía práctica

Con objeto de facilitar la aplicación de la presente Directiva, la Comisión proporcionará guías prácticas no vinculantes a más tardar seis meses antes del 1 de julio de 2016. Dichas guías prácticas se referirán, en particular, a las cuestiones siguientes:

- a) la determinación de la exposición, teniendo en cuenta las normas europeas e internacionales pertinentes, incluidos:
 - los métodos de cálculo para la evaluación de los valores límite de exposición,
 - la obtención del promedio espacial de los campos eléctricos y magnéticos externos,
 - las directrices para el tratamiento de las incertidumbres en las mediciones y los cálculos;
- b) directrices sobre la demostración del cumplimiento en tipos especiales de exposición no uniforme en situaciones específicas, sobre la base de una dosimetría bien establecida;
- c) la descripción del «método de ponderación de picos» para los campos de baja frecuencia y de la «suma de campos de frecuencias múltiples» para los campos de alta frecuencia;

- d) la realización de evaluaciones de riesgos y, cuando sea posible, la provisión de técnicas simplificadas teniendo en cuenta, en particular, las necesidades de las PYME;
- e) medidas destinadas a evitar o reducir los riesgos, incluidas las medidas específicas de prevención dependiendo del nivel de exposición y de las características del lugar del trabajo;
- f) la elaboración de procedimientos de trabajo documentados, así como medidas de información y formación específicas para los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos durante actividades relacionadas con IRM incluidas en el ámbito del artículo 10, apartado 1, letra a);
- g) la evaluación de las exposiciones en el intervalo de frecuencias comprendido entre 100 kHz y 10 MHz, cuando haya que tomar en consideración tanto los efectos térmicos como los no térmicos;
- h) las directrices sobre los exámenes médicos y la vigilancia de la salud que debe proporcionar el empresario de conformidad con el artículo 8, apartado 2.

La Comisión trabajará en estrecha colaboración con el Comité Consultivo para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Se mantendrá informado al Parlamento Europeo.

Artículo 15

Revisión e informes

Habida cuenta del artículo 1, apartado 4, el informe sobre la aplicación práctica de la presente Directiva se elaborará de conformidad con el artículo 17 *bis* de la Directiva 89/391/CEE.

Artículo 16

Transposición

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo establecido en la presente Directiva a más tardar el 1 de julio de 2016.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, estas incluirán una referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

2. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el texto de las principales disposiciones de Derecho interno que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

Artículo 17

Derogación

1. Queda derogada la Directiva 2004/40/CE a partir del 29 de junio de 2013.
2. Las referencias a la Directiva derogada se entenderán hechas a la presente Directiva con arreglo a la tabla de correspondencias que figura en el anexo IV.

Artículo 18

Entrada en vigor

La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea*.

Artículo 19

Destinatarios

Los destinatarios de la presente Directiva son los Estados miembros.

Hecho en Bruselas, el 26 de junio de 2013.

Por el Parlamento Europeo
El Presidente
M. SCHULZ

Por el Consejo
El Presidente
A. SHATTER

ANEXO I

MAGNITUDES FÍSICAS RELATIVAS A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Para describir la exposición a campos electromagnéticos se utilizan las magnitudes físicas siguientes:

Intensidad de campo eléctrico (E): magnitud vectorial que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (Vm^{-1}). Es preciso distinguir entre el campo eléctrico ambiental y el campo eléctrico presente en el cuerpo (*in situ*) como resultado de la exposición al campo eléctrico ambiental.

Corriente en las extremidades (I_L): corriente en las extremidades de una persona expuesta a campos electromagnéticos dentro del intervalo de frecuencias comprendido entre 10 MHz y 110 MHz como resultado del contacto con un objeto en un campo electromagnético, o el flujo de las corrientes capacitivas inducidas en un cuerpo expuesto. Se expresa en amperios (A).

Corriente de contacto (I_C): corriente que aparece cuando una persona entra en contacto con un objeto en un campo electromagnético. Se expresa en amperios (A). Se produce una corriente de contacto en estado estacionario cuando una persona está en contacto continuo con un objeto en un campo electromagnético. En el proceso del establecimiento de dicho contacto, puede producirse una descarga de chispas con corrientes transitorias asociadas.

Carga eléctrica (Q): magnitud adecuada utilizada para la descarga de chispa; se expresa en culombios (C).

Intensidad de campo magnético (H): magnitud vectorial que, junto con la densidad de flujo magnético, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (Am^{-1}).

Densidad de flujo magnético o inducción magnética (B): magnitud vectorial definida en términos de fuerza ejercida sobre cargas en movimiento que se expresa en teslas (T). En el espacio libre y en la materia biológica, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden utilizar indistintamente según la equivalencia intensidad de campo magnético $H = 1 \text{ Am}^{-1}$ igual a densidad de flujo magnético $B = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$ (alrededor de 1,25 microteslas).

Densidad de potencia (S) es una magnitud adecuada que se utiliza para frecuencias muy altas, cuando la profundidad de penetración en el cuerpo es baja. Es el cociente de la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de esta superficie. Se expresa en vatios por metro cuadrado (Wm^{-2}).

Absorción específica de energía (SA) es una energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico; se expresa en julios por kilogramo (Jkg^{-1}). En la presente Directiva se utiliza para establecer límites para los efectos de la radiación de microondas pulsátil.

Tasa de absorción específica de energía (SAR) sobre la totalidad del cuerpo o sobre una parte de este, es la tasa de energía que es absorbida por unidad de masa de tejido corporal. Se expresa en vatios por kilogramo (Wkg^{-1}). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a las radiofrecuencias. Junto al SAR medio de cuerpo entero, los valores SAR locales son necesarios para evaluar y limitar una acumulación excesiva de energía en pequeñas partes del cuerpo como consecuencia de unas condiciones especiales de exposición. Como ejemplo de esas condiciones pueden citarse: la exposición de una persona a radiofrecuencias en valores inferiores de MHz (por ejemplo, de calentadores dieléctricos), o de personas expuestas al campo cercano de una antena.

De entre estas magnitudes, pueden medirse directamente la densidad de flujo magnético (B), la corriente de contacto (I_C), la corriente en las extremidades (I_L), la intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H) y la densidad de potencia (S).

ANEXO II

EFECTOS NO TÉRMICOS

VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN Y NIVELES DE ACTUACIÓN EN EL INTERVALO DE FRECUENCIAS ENTRE 0 Hz Y 10 MHz

A. VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN

Los valores límite de exposición inferiores a 1 Hz (cuadro A1) son límites para un campo magnético estático que no resulta afectado por el tejido corporal.

Los valores límite de exposición para frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 10 MHz (cuadro A2) son límites para los campos eléctricos inducidos en el cuerpo a partir de la exposición a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo.

Valores límite de exposición de densidad de flujo magnético externo de 0 a 1 Hz

Los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales son los valores límite de exposición para condiciones de trabajo normales (cuadro A1); están relacionados con los vértigos y otros efectos fisiológicos relacionados con alteraciones del órgano humano del equilibrio resultantes principalmente del desplazamiento dentro de un campo magnético estático.

Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud en condiciones de trabajo controladas (cuadro A1) son aplicables temporalmente durante un turno de trabajo cuando así lo justifique la práctica o el proceso, siempre que se hayan adoptado medidas preventivas, como el control de los movimientos y la información a los trabajadores.

Cuadro A1

Valores límite de exposición (VLE) de densidad de flujo magnético externo (B_0) de 0 a 1 Hz

	VLE relacionados con efectos sensoriales
Condiciones de trabajo normales	2 T
Exposición localizada en las extremidades	8 T
	VLE relacionados con efectos para la salud
Condiciones de trabajo controladas	8 T

Valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud para una intensidad de campo eléctrico interno comprendida entre 1 Hz y 10 MHz

Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud (cuadro A2) se relacionan con la estimulación eléctrica de todos los tejidos del sistema nervioso central y periférico del cuerpo, incluida la cabeza.

Cuadro A2

Valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos para la salud para una intensidad de campo eléctrico interno comprendida entre 1 Hz y 10 MHz

Gama de frecuencias	VLE relacionados con efectos para la salud
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ Vm}^{-1}$ (pico)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ Vm}^{-1}$ (pico)

Nota A2-1: «f» es la frecuencia expresada en hercios (Hz).

Nota A2-2: Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud para un campo eléctrico interno son valores espaciales de pico en el cuerpo entero de la persona expuesta.

Nota A2-3: Los valores límite de exposición son valores de pico en el tiempo, que son iguales a los valores cuadráticos medios (RMS) multiplicados por la raíz cuadrada de 2 para los campos sinusoidales. En el caso de los campos no sinusoidales, la evaluación de la exposición efectuada de conformidad con el artículo 4 debe basarse en el método de la ponderación de picos (filtrado en el dominio de tiempo) explicado en las guías prácticas a que se hace referencia en el artículo 14; no obstante pueden aplicarse otros procedimientos de evaluación de la exposición científicamente probados y validados, siempre que den resultados aproximadamente equivalentes y equiparables.

Valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales para una intensidad de campo eléctrico interno comprendida entre 1 Hz y 400 Hz

Los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (cuadro A3) se relacionan con los efectos de un campo eléctrico sobre el sistema nervioso central en la cabeza, esto es, fosfenos retinianos y cambios transitorios de poca importancia en algunas funciones cerebrales.

Cuadro A3

Valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos sensoriales para una intensidad de campo eléctrico interno comprendida entre 1 Hz y 400 Hz

Intervalo de frecuencias	VLE relacionados con efectos sensoriales
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ Vm}^{-1}$ (pico)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07 \text{ Vm}^{-1}$ (pico)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ Vm}^{-1}$ (pico)

Nota A3-1: «f» es la frecuencia expresada en hercios (Hz).

Nota A3-2: Los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales para un campo eléctrico interno son valores espaciales máximos en la cabeza de la persona expuesta.

Nota A3-3: Los valores límite de exposición son valores de pico en el tiempo, que son iguales a los valores cuadráticos medios (RMS) multiplicados por la raíz cuadrada de 2 para los campos sinusoidales. En el caso de campos no sinusoidales, la evaluación de la exposición realizada de conformidad con el artículo 4 se basará en el método de la ponderación de picos (filtrado en el dominio de tiempo) explicado en las guías prácticas a que se hace referencia en el artículo 14; no obstante, pueden aplicarse otros procedimientos de evaluación de la exposición científicamente probados y validados, siempre que den resultados aproximadamente equivalentes y comparables.

B. NIVELES DE ACTUACIÓN

Las siguientes magnitudes y valores físicos se utilizan para definir los niveles de actuación (NA), cuyos valores se establecen de tal forma que se garantice, mediante una evaluación simplificada, el respeto de los valores límite de exposición pertinentes o valores a partir de los que deben adoptarse las medidas de protección o de prevención pertinentes precisadas en el artículo 5:

- NA (E) inferiores y NA (E) superiores para una intensidad de campo eléctrico E de campos eléctricos variables en el tiempo, como se especifica en el cuadro B1,
- NA (B) inferiores y NA (B) superiores de densidad de flujo magnético B de campos magnéticos variables en el tiempo, como se especifica en el cuadro B2,
- NA (I_C) para la corriente de contacto, como se especifica en el cuadro B3,
- NA (B_0) de densidad de flujo magnético de campos magnéticos estáticos, como se especifica en el cuadro B4.

Los niveles de actuación corresponden a valores de campos eléctricos y magnéticos calculados o medidos en el lugar de trabajo en ausencia del trabajador.

Niveles de actuación para la exposición a campos eléctricos

Los niveles de actuación inferiores (cuadro B1) para los campos eléctricos externos se basan en el mantenimiento del campo eléctrico interno por debajo de los valores límite de exposición (cuadros A2 y A3) y en la limitación de las descargas de chispa en el entorno de trabajo.

Por debajo de los niveles de actuación superiores, el campo eléctrico interno no supera los valores límite de exposición (cuadros A2 y A3) y se evitan las descargas de chispa molestas, siempre que se adopten las medidas de protección previstas en el artículo 5, apartado 6.

Cuadro B1

Niveles de actuación (NA) para exposiciones a campos eléctricos comprendidos entre 1 Hz y 10 MHz

Intervalo de frecuencias	NA (E) inferior de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)	NA (E) superior de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$

Intervalo de frecuencias	NA (E) inferior de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)	NA (E) superior de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Nota B1-1: «f» es la frecuencia expresada en hercios (Hz).

Nota B1-2: Los NA (E) inferiores y NA (E) superiores son los valores cuadráticos medios (RMS) de la intensidad del campo eléctrico que son iguales a los valores de pico divididos por la raíz cuadrada de 2 para un campo sinusoidal. En caso de campos no sinusoidales, la evaluación de la exposición realizada de conformidad con el artículo 4 se basará en el método de la ponderación de picos (filtrado en el dominio de tiempo) explicado en las guías prácticas a que se hace referencia en el artículo 14; no obstante, pueden aplicarse otros procedimientos de evaluación de la exposición científicamente probados y validados, siempre que den resultados aproximadamente equivalentes y comparables.

Nota B1-3: Los niveles de actuación representan los valores máximos calculados o medidos en la posición del cuerpo del trabajador. Esto entraña una evaluación moderada de la exposición y un cumplimiento automático de los valores límite de exposición en todas las condiciones de exposición no uniformes. Con el fin de simplificar la evaluación del cumplimiento de los valores límite de exposición, llevada a cabo de conformidad con el artículo 4, en condiciones no uniformes particulares, se establecerán criterios para la obtención del promedio espacial de los campos medidos basados en una dosimetría bien establecida en las guías prácticas mencionadas en el artículo 14. En el caso de una fuente muy localizada situada a una distancia de algunos centímetros del cuerpo, el campo eléctrico inducido se determinará dosimétricamente caso por caso.

Niveles de actuación para exposiciones a campos magnéticos

Los niveles de actuación inferiores (cuadro B2) son para frecuencias por debajo de los 400 Hz derivadas de los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (véase cuadro A3) y niveles de actuación para frecuencias por encima de los 400 Hz, derivados de los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud para los campos eléctricos internos (cuadro A2).

Los niveles de actuación superiores (cuadro B2) proceden de los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud del campo eléctrico interno relacionado con la estimulación eléctrica de los tejidos del sistema nervioso periférico y autónomo en la cabeza y el tronco (cuadro A2). El respeto de los niveles de actuación elevados garantiza que no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud, pero no excluye los efectos relacionados con los fosfenos retinianos y cambios transitorios de poca importancia en la actividad cerebral si la exposición de la cabeza supera los niveles de actuación inferiores para exposiciones a frecuencias inferiores o iguales a 400 Hz. En ese caso, será de aplicación el artículo 5, apartado 6.

Los niveles de actuación para la exposición de las extremidades se derivan de los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud para los campos eléctricos internos relacionados con la estimulación eléctrica de los tejidos en las extremidades, teniendo en cuenta que el campo magnético se acopla más débilmente a las extremidades que al cuerpo entero.

Cuadro B2

Niveles de actuación (NA) para exposiciones a campos magnéticos en el intervalo entre 1 Hz y 10 MHz

Intervalo de frecuencias	NA (B) inferior para densidad de flujo magnético [μT] (RMS)	NA (B) superior para densidad de flujo magnético [μT] (RMS)	NA para densidad de flujo magnético para una exposición de las extremidades a un campo magnético localizado [μT] (RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Nota B2-1: «f» es la frecuencia expresada en hercios (Hz).

Nota B2-2: Los niveles de actuación inferiores y los niveles de actuación superiores son los valores cuadráticos medios (RMS) que son iguales a los valores de pico divididos por la raíz cuadrada de 2 para un campo sinusoidal. En el caso de campos no sinusoidales, la evaluación de la exposición realizada de conformidad con el artículo 4 se basará en el método de la ponderación de picos (filtrado en el dominio de tiempo) explicado en las guías prácticas a que se hace referencia en el artículo 14; no obstante, pueden aplicarse otros procedimientos de evaluación de la exposición científicamente probados y validados, siempre que den resultados aproximadamente equivalentes y equiparables.

Nota B2-3: Los niveles de actuación para la exposición a los campos magnéticos representan valores máximos en la posición del cuerpo del trabajador. Esto entraña una evaluación moderada de la exposición y un cumplimiento automático de los valores límite de exposición en todas las condiciones de exposición no uniformes. Con el fin de simplificar la evaluación del cumplimiento de los valores límite de exposición, llevada a cabo de conformidad con el artículo 4, en condiciones no uniformes particulares, se establecerán criterios para la obtención del promedio espacial de los campos medidos basados en una dosimetría bien establecida en las guías prácticas mencionadas en el artículo 14. En el caso de una fuente muy localizada situada a una distancia de algunos centímetros del cuerpo, el campo eléctrico inducido se determinará dosimétricamente caso por caso.

Cuadro B3

Niveles de actuación (NA) para la corriente de contacto I_C

Frecuencia	NA (I_C) corrientes de contacto [mA] en estado estacionario (RMS)
Hasta 2,5 kHz	1,0
$2,5 \leq f < 100$ kHz	$0,4/f$
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10\,000$ MHz	40

Nota B3-1: « f » es la frecuencia expresada en kHz.

Niveles de actuación para la densidad de flujo magnético de campos magnéticos estáticos

Cuadro B4

Niveles de actuación (NA) para la densidad de flujo magnético de campos magnéticos estáticos

Riesgos	NA (B_0)
Interferencias con dispositivos médicos activos implantados, por ejemplo marcapasos cardíacos	0,5 mT
Riesgo de atracción y proyección en campos periféricos de fuentes de campos intensos (> 100 mT)	3 mT

ANEXO III

EFECTOS TÉRMICOS

VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN Y NIVELES DE ACTUACIÓN EN EL INTERVALO DE FRECUENCIAS ENTRE 100 kHz Y 300 GHz**A. VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN**

Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud para las frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 6 GHz (cuadro A1) son los valores límite de energía y de potencia absorbida por unidad de masa de tejido corporal generadas por la exposición a campos eléctricos y magnéticos.

Los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales para las frecuencias comprendidas entre 0,3 y 6 GHz (cuadro A2) son los valores límite de energía absorbida en una pequeña masa de tejido en la cabeza procedente de la exposición a campos electromagnéticos.

Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud para las frecuencias superiores a 6 GHz (cuadro A3) son los valores límite de densidad de potencia de una onda electromagnética incidente sobre la superficie del cuerpo.

Cuadro A1

Valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos para la salud para exposiciones a campos electromagnéticos comprendidos entre 100 kHz y 6 GHz

VLE relacionados con efectos para la salud	Valores SAR promediados a lo largo de un período cualquiera de seis minutos
VLE relativo al estrés térmico del cuerpo entero, expresado como SAR promediado del cuerpo	0,4 Wkg ⁻¹
VLE relativo al estrés térmico localizado en la cabeza y tronco, expresado como SAR localizado del cuerpo	10 Wkg ⁻¹
VLE relativo al estrés térmico en las extremidades, expresado como SAR localizado de las extremidades	20 Wkg ⁻¹

Nota A1-1: La masa promediada de SAR localizado constituye una porción cualquiera de 10 g de tejido contiguo; el SAR máximo obtenido de esta forma debe ser el valor que se utilice para estimar la exposición. Estos 10 g de tejido deben ser una masa de tejido contiguo con propiedades eléctricas prácticamente homogéneas. Al especificar que se trata de una masa de tejido contiguo, se reconoce que este concepto puede utilizarse en la dosimetría informatizada, aunque puede presentar dificultades a la hora de efectuar mediciones físicas directas. Puede utilizarse una simple masa de tejido de forma geométrica cúbica o esférica.

Valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales para las frecuencias comprendidas entre 0,3 GHz y 6 GHz

Estos valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (cuadro A2) están relacionados con la prevención de los efectos auditivos causados por exposiciones de la cabeza a las radiaciones de microondas pulsantes.

Cuadro A2

Valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos sensoriales para la exposición a campos electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 0,3 GHz y 6 GHz

Intervalo de frecuencias	Absorción de energía específica localizada (AE)
0,3 ≤ f ≤ 6 GHz	10 mJkg ⁻¹

Nota A2-1: La masa considerada para evaluar la AE localizada es de 10 g de tejido.

Cuadro A3

Valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos sobre la salud para la exposición a campos electromagnéticos comprendidos entre 6 GHz y 300 GHz

Intervalo de frecuencias	VLE relacionados con efectos para la salud relativos a la densidad de potencia
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	50 Wm ⁻²

Nota A3-1: La densidad de potencia media se mide sobre una superficie expuesta cualquiera de 20 cm². Las densidades de potencia máxima espacial promediadas para 1 cm² no deberán ser superiores a 20 veces el valor de 50 Wm⁻². Las densidades de potencia comprendidas entre 6 y 10 GHz deben promediarse para cualquier período de seis minutos. Las densidades de potencia medias para frecuencias superiores a 10 GHz se calcularán un período de tiempo de 68/f^{1,05} minutos (en el que «f» es la frecuencia expresada en GHz) con el fin de compensar una reducción progresiva de la profundidad de penetración a medida que aumenta la frecuencia.

B. NIVELES DE ACTUACIÓN

Las siguientes magnitudes y valores físicos se utilizan para definir los niveles de actuación, cuyo valor se establece de forma que se garantice, mediante una evaluación simplificada, el respeto de los valores límite de exposición pertinentes o los valores a partir de los que deben adoptarse las medidas de protección o de prevención pertinentes precisadas en el artículo 5:

- NA (E) para una intensidad de campo eléctrico E de un campo eléctrico variable en el tiempo (véase el cuadro B1),
- NA (B) de densidad de flujo magnético B de un campo magnético variable en el tiempo (véase el cuadro B1),
- NA (S) para la densidad de potencia de las ondas electromagnéticas como se especifica en el cuadro B1,
- NA (I_C) para la corriente de contacto como se especifica en el cuadro B2,
- NA (I_L) para las corrientes en las extremidades como se especifica en el cuadro B2.

Los niveles de actuación corresponden a los valores de campo calculados o medidos en el lugar de trabajo en ausencia del trabajador, como valor máximo en la ubicación del cuerpo o de la parte especificada del cuerpo.

Niveles de actuación para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos

Los NA (E) y NA (B) se derivan de los SAR o de valores límite de exposición de densidad de potencia (cuadros A1 y A3) sobre la base de los niveles relativos a los efectos térmicos internos causados por la exposición a un campo eléctrico y magnético (externo).

Cuadro B1

Niveles de actuación (NA) para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz

Intervalo de frecuencias	NA (E) de intensidad del campo eléctrico [Vm ⁻¹] (RMS)	NA (B) de densidad de flujo magnético [μT] (RMS)	NA (S) de densidad de potencia (en Wm ⁻²)
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 × 10 ²	2,0 × 10 ⁶ /f	—
1 ≤ f < 10 MHz	6,1 × 10 ⁸ /f	2,0 × 10 ⁶ /f	—
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2	—
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 ⁻³ f ^{1/2}	1,0 × 10 ⁻⁵ f ^{1/2}	—
2 ≤ f < 6 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	—
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	50

Nota B1-1: «f» es la frecuencia expresada en hercios (Hz).

Nota B1-2: El [NA (E)]² y el [NA (B)]² medios deben promediarse para un período de seis minutos. Para los impulsos RF, la densidad de potencia de pico media calculada para la duración del impulso no deberá exceder de 1 000 veces el valor NA (S) correspondiente. Para los campos de frecuencias múltiples, el análisis se basa en la suma, tal como se explica en las guías prácticas a que se hace referencia en el artículo 14.

Nota B1-3: Los NA (E) y los NA (B) representan los valores máximos calculados o medidos en la posición del cuerpo del trabajador. Esto entraña una evaluación moderada de la exposición y un cumplimiento automático de los valores límite de exposición en todas las condiciones de exposición no uniformes. Para simplificar la evaluación del cumplimiento de los valores límite de exposición, llevada a cabo de conformidad con el artículo 4, en condiciones no uniformes particulares, en las guías prácticas mencionadas en el artículo 14 se establecerán criterios para la obtención del promedio espacial de los valores de los campos medidos basados en una dosimetría sólidamente establecida. En el caso de una fuente muy localizada situada a una distancia de unos pocos centímetros del cuerpo, el cumplimiento de los valores límite de exposición se determinará dosimétricamente caso por caso.

Nota B1-4: La densidad de potencia se debe promediar sobre una superficie expuesta cualquiera de 20 cm². Las densidades de potencia máxima espacial promediadas para una superficie de 1 cm² no deberán ser superiores a 20 veces el valor de 50 Wm⁻². Las densidades de potencia comprendidas entre 6 y 10 GHz deben promediarse para cualquier período de seis minutos. Las densidades de potencia medias superiores a 10 GHz se calcularán para un período de tiempo de 68/f^{1,05} minutos (donde «f» es la frecuencia expresada en GHz), con el fin de compensar una reducción progresiva de la profundidad de penetración a medida que aumenta la frecuencia.

Cuadro B2

Niveles de actuación (NA) para las corrientes de contacto en estado estacionario y las corrientes inducidas en las extremidades

Intervalo de frecuencias	NA (I_C) corrientes de contacto en estado estacionario [mA] (RMS)	NA (I_I) corrientes inducidas en una extremidad [mA] (RMS)
100 kHz \leq f < 10 MHz	40	—
10 MHz \leq f \leq 110 MHz	40	100

Nota B2-1: El [NA (I_I)]² medio debe promediarse para un período de seis minutos.

ANEXO IV

Tabla de correspondencias

Directiva 2004/40/EC	Presente Directiva
Artículo 1, apartado 1	Artículo 1, apartado 1
Artículo 1, apartado 2	Artículo 1, apartados 2 y 3
Artículo 1, apartado 3	Artículo 1, apartado 4
Artículo 1, apartado 4	Artículo 1, apartado 5
Artículo 1, apartado 5	Artículo 1, apartado 6
Artículo 2, letra a)	Artículo 2, letra a)
—	Artículo 2, letra b)
—	Artículo 2, letra c)
Artículo 2, letra b)	Artículo 2, letras d), e) y f)
Artículo 2, letra c)	Artículo 2, letra g)
Artículo 3, apartado 1	Artículo 3, apartado 1
Artículo 3, apartado 2	Artículo 3, apartado 1
—	Artículo 3, apartado 2
Artículo 3, apartado 3	Artículo 3, apartados 2 y 3
—	Artículo 3, apartado 4
Artículo 4, apartado 1	Artículo 4, apartado 1
Artículo 4, apartado 2	Artículo 4, apartados 2 y 3
Artículo 4, apartado 3	Artículo 4, apartado 3
Artículo 4, apartado 4	Artículo 4, apartado 4
Artículo 4, apartado 5, letra a)	Artículo 4, apartado 5, letra b)
Artículo 4, apartado 5, letra b)	Artículo 4, apartado 5, letra a)
—	Artículo 4, apartado 5, letra c)
Artículo 4, apartado 5, letra c)	Artículo 4, apartado 5, letra d)
Artículo 4, apartado 5, letra d)	Artículo 4, apartado 5, letra e)
Artículo 4, apartado 5, letra d), inciso i)	—
Artículo 4, apartado 5, letra d), inciso ii)	—
Artículo 4, apartado 5, letra d), inciso iii)	—

Directiva 2004/40/EC	Presente Directiva
Artículo 4, apartado 5, letra d), inciso iv)	—
Artículo 4, apartado 5, letra e)	Artículo 4, apartado 5, letra f)
Artículo 4, apartado 5, letra f)	Artículo 4, apartado 5, letra g)
—	Artículo 4, apartado 5, letra h)
—	Artículo 4, apartado 5, letra i)
Artículo 4, apartado 5, letra g)	Artículo 4, apartado 5, letra j)
Artículo 4, apartado 5, letra h)	Artículo 4, apartado 5, letra k)
—	Artículo 4, apartado 6
Artículo 4, apartado 6	Artículo 4, apartado 7
Artículo 5, apartado 1	Artículo 5, apartado 1
Artículo 5, apartado 2, parte introductoria	Artículo 5, apartado 2, parte introductoria
Artículo 5, apartado 2, letras a) a c)	Artículo 5, apartado 2, letras a) a c)
—	Artículo 5, apartado 2, letra d)
—	Artículo 5, apartado 2, letra e)
Artículo 5, apartado 2, letras d) a g)	Artículo 5, apartado 2, letras f) a i)
—	Artículo 5, apartado 4
Artículo 5, apartado 3	Artículo 5, apartado 5
—	Artículo 5, apartado 6
—	Artículo 5, apartado 7
Artículo 5, apartado 4	Artículo 5, apartado 8
—	Artículo 5, apartado 9
Artículo 5, apartado 5	Artículo 5, apartado 3
Artículo 6, parte introductoria	Artículo 6, parte introductoria
Artículo 6, letra a)	Artículo 6, letra a)
Artículo 6, letra b)	Artículo 6, letra b)
—	Artículo 6, letra c)
Artículo 6, letra c)	Artículo 6, letra d)
Artículo 6, letra d)	Artículo 6, letra e)
—	Artículo 6, letra f)

Directiva 2004/40/EC	Presente Directiva
Artículo 6, letra e)	Artículo 6, letra g)
Artículo 6, letra f)	Artículo 6, letra h)
—	Artículo 6, letra i)
Artículo 7	Artículo 7
Artículo 8, apartado 1	Artículo 8, apartado 1
Artículo 8, apartado 2	—
Artículo 8, apartado 3	Artículo 8, apartado 2
Artículo 9	Artículo 9
—	Artículo 10
Artículo 10, apartado 1	Artículo 11, apartado 1, letra c)
Artículo 10, apartado 2, letra a)	Artículo 11, apartado 1, letra a)
Artículo 10, apartado 2, letra b)	Artículo 11, apartado 1, letra b)
Artículo 11	—
—	Artículo 12
—	Artículo 13
—	Artículo 14
—	Artículo 15
Artículo 13, apartado 1	Artículo 16, apartado 1
Artículo 13, apartado 2	Artículo 16, apartado 2
—	Artículo 17
Artículo 14	Artículo 18
Artículo 15	Artículo 19
Anexo	Anexo I, anexo II, y anexo III
—	Anexo IV

La Directiva 2013/35/UE establece los requisitos mínimos de seguridad relativos a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los campos electromagnéticos (CEM). La presente guía práctica se ha elaborado para ayudar a los empresarios, y en particular a las pequeñas y medianas empresas, a comprender lo que deben hacer para dar cumplimiento a la Directiva. No obstante, también puede ser útil para los trabajadores, los representantes de estos y las autoridades reguladoras de los Estados miembros. Se compone de dos volúmenes y de una guía específica para las pymes.

El volumen 1 de la guía práctica ofrece asesoramiento sobre la realización de evaluaciones de riesgos y también sobre las opciones de las que pueden disponer los empresarios que han de aplicar medidas adicionales de protección o de prevención.

El volumen 2 presenta doce casos prácticos que muestran a los empresarios la manera de enfocar las evaluaciones e ilustran algunas de las medidas de prevención y protección que pueden seleccionarse y aplicarse. Los casos prácticos se presentan en el contexto de lugares de trabajo genéricos, pero se han recogido a partir de situaciones reales de trabajo.

La guía para las pymes le ayudará a usted a llevar a cabo una evaluación inicial de los riesgos derivados de los CEM en su lugar de trabajo. Sobre la base de los resultados de esta evaluación, le ayudará a decidir si debe tomar alguna otra medida como consecuencia de la Directiva CEM.

Esta guía se publica en formato electrónico en todas las lenguas oficiales de la UE.

Puede descargar nuestras publicaciones o suscribirse de manera gratuita en la página: <http://ec.europa.eu/social/publications>

Si desea recibir noticias periódicas sobre la Dirección General de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión, regístrese para recibir el boletín electrónico gratuito Social Europe en la página:

<http://ec.europa.eu/social/e-newsletter>



<https://www.facebook.com/socialeurope>



https://twitter.com/EU_Social



Oficina de Publicaciones

doi:10.2767/626645
ISBN 978-92-79-45872-9