



Trabajo Fin de Máster

EL RIESGO LABORAL POR EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS: DESCRIPCIÓN, MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y EJEMPLOS.

Autor

Víctor Herrero Silvestre

Directora

Cristina Nerín de la Puerta

Facultad de Derecho
2017-2018

RESUMEN

Los campos electromagnéticos son un fenómeno físico que, en la actualidad, es utilizado universalmente y está presente en todos los puestos de trabajo. Sin embargo, la regulación de la prevención laboral de este riesgo es muy reciente. En España, aún no existe una guía técnica que especifique cómo deben ser evaluados. Los métodos propuestos varían enormemente en complejidad, desde evaluaciones simplificadas definiendo equipos seguros a evaluaciones que requieren mediciones y cálculos de los campos electromagnéticos. Este es un riesgo que cabe tener en consideración en cualquier evaluación de riesgos de un puesto de trabajo, en particular, cuando puedan existir trabajadores especialmente sensibles o cuando existan sinergias con otros riesgos. Es necesario actualizar y simplificar los métodos de evaluación para lograr su integración en el elenco de riesgos genéricos que analizar en cualquier puesto de trabajo.

Palabras clave: Prevención riesgo laboral campos electromagnéticos

ABSTRACT

An electromagnetic field is a physical phenomenon which is universally used in all workplaces nowadays. However, the regulation of the occupational safety management of this risk is very recent. There has not been published yet a technical guide on the evaluation of this risk in Spain. The proposed methods can vary enormously in complexity, from simplified evaluations defining which occupational equipment is safe to use to evaluations that require measurements and calculations of the electromagnetic fields in the workplace. This risk must be taken into consideration in any job risk assessment. Effects concerning the health and safety of workers at particular risk and the synergies with other risks should be particularly regarded. It is necessary to update and to simplify the evaluation methods so the exposure to electromagnetic fields during the work can be properly integrated in the generic risks to analyze list of any job.

Keywords: Occupational safety health electromagnetic fields

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	7
DISCUSIÓN	8
Marco normativo específico	8
De la Directiva 2004/40/CE a la Directiva 2013/35/UE, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).	8
El Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.....	11
Campos electromagnéticos y salud.....	16
Descripción de los campos electromagnéticos.....	16
Efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos.....	21
La protección de la seguridad y la salud de trabajadores expuestos a campos electromagnéticos.....	26
Medidas organizativas	27
Medidas técnicas.....	28
La evaluación del riesgo de exposición a campos electromagnéticos.....	29
La obligación de evaluar el riesgo por exposición a campos electromagnéticos en el Real Decreto 299/2016.....	29
La metodología de evaluación propuesta por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.....	31
La metodología de evaluación de la Norma UNE-EN 50499:2009	33
Las metodologías de evaluación propuestas por la Comisión Europea en su Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE.	36

Ejemplos de evaluación de la exposición y medidas preventivas frente al riesgo de exposición a campos electromagnéticos.....	42
Ejemplo de aplicación en el puesto de soldadura.	43
Ejemplo de aplicación en el puesto de guardia de seguridad.	47
Ejemplo de aplicación en el puesto de operador de radiofaro.	50
CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	57
Referencias de las figuras	61

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos siempre hemos estado expuestos a los campos electromagnéticos, que abundan en los fenómenos naturales. Son de sobra conocidos, por ejemplo, la existencia del campo magnético terrestre o los campos eléctricos producidos durante las tormentas. Con el desarrollo científico y ampliación de los conocimientos sobre este fenómeno, pues el electromagnetismo comienza a ser descrito en sus términos actuales durante el siglo XIX, el progreso tecnológico rápidamente le encuentra nuevas aplicaciones y la exposición a estos campos, ahora de origen artificial, aumenta. Hoy en día sus aplicaciones no solo son innumerables, sino de vital necesidad para las sociedades humanas.

Sin embargo, la preocupación por los riesgos asociados a los campos electromagnéticos, por lo menos en su desarrollo actual, no está relacionada con aquellas aplicaciones dadas inicialmente a la electricidad y el magnetismo, que se consideraron generalmente inocuas. Fue en el extremo más energético de la radiación electromagnética, en la radiación ionizante relacionada con procesos radiactivos, donde evidentemente la seguridad y la salud de las personas expuestas comenzó a ser objeto de inquietud. El primer resultado de esta inquietud puede fijarse en 1928, cuando se celebró el primer Congreso Mundial de Radiología, que estableció el Comité Internacional de Protección contra los Rayos X y el Radio, pues este elemento era fuente de radiación gamma. Posteriormente, con el descubrimiento y aplicaciones de la energía nuclear, se haría aún mayor hincapié en el estudio y desarrollo de las necesidades de protección frente a este rango del espectro electromagnético (Clarke y Valentin, 2009).

Es ya en los años 50 cuando esta preocupación se extiende a las radiaciones menos energéticas, que ya no son capaces de provocar la ionización de átomos. Evidentemente, el interés se desplazó inicialmente hacia las frecuencias del espectro electromagnético más energéticas de entre las no ionizantes: la radiación ultravioleta. Es a partir de entonces cuando se comienzan a investigar los efectos para la salud de los campos electromagnéticos no ionizantes y los campos magnético y eléctrico estáticos, despegando estos estudios especialmente a partir de los años 70, cuando la investigación se centrará en conocer su posible relación con el cáncer (Hockberger, 2002).

Es precisamente en 1973 cuando se celebró una sesión específica sobre protección frente a radiación no ionizante durante el tercer Congreso Internacional de la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA). Los años siguientes se crearon grupos de trabajo y de estudio y en 1997, con motivo del cuarto Congreso Internacional de esta institución, se creó el Comité Internacional de Radiación de Ionizante (INIRC) que fue el origen de la creación en 1992, como organismo ya independiente, de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). El estudio científico y técnico realizado por esta institución no-gubernamental es de gran importancia pues ha sido la que ha llevado a cabo los estudios que han establecido los límites de exposición adoptados por la Unión Europea en su legislación actual.

En cuanto al desarrollo de la protección frente a estas radiaciones en España, probablemente como consecuencia de sus avatares históricos, este es posterior al de otros países occidentales, asimilando la protección a la par que las nuevas tecnologías son importadas. Quizá por ello, el origen de la protección radiológica en España data de 1959, cuando mediante la Orden de 22 de diciembre de aquel año se dictan normas para la protección contra radiaciones ionizantes. Las radiaciones ionizantes serán el único rango del espectro electromagnético para el que se regule la protección de trabajadores expuestos en España, evidentemente con actualizaciones posteriores a la citada orden, hasta que se adopte la normativa preventiva desarrollada desde la Unión Europea.

En concreto, la protección de trabajadores frente a otros rangos del espectro electromagnético llegará mediante la trasposición de Directivas europeas de desarrollo de la Directiva Marco 89/391/CEE, 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, traspuesta mediante la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. Sin embargo, la primera Directiva 2004/40/CE 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) no fue traspuesta por España. Por una parte, el Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales, regula la protección desde las radiaciones ultravioleta

hasta las infrarrojas. Por otra, el Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos, regula la protección frente a los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos desde los estáticos hasta el límite inferior de la radiación infrarroja, transponiendo la Directiva 2013/35/UE sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos), que derogó la anterior Directiva 2004/40/CE.

Esta última norma, de traspacción tardía como se discutirá más adelante, viene a completar la legislación sobre la protección frente a la exposición laboral a radiación electromagnético. Debido a esta circunstancia, las obligaciones impuestas por esta norma suponen una novedad en el ámbito de la prevención laboral en España y motivan el objeto de este trabajo.

No obstante, cabe destacar que, aunque no específicamente en el ámbito no laboral, se establecen los límites de exposición para la protección sanitaria y evaluación de riesgos por emisiones radioeléctricas por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. Este Reglamento vino motivado, a su vez, por la 1999/519/CE: Recomendación del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz).

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal del trabajo es analizar los métodos de evaluación del riesgo laboral por exposición a campos electromagnéticos propuestos por la legislación vigente para discutir su idoneidad mediante su aplicación a ejemplos concretos. Con carácter previo, es asimismo objeto del trabajo establecer una base apropiada de conocimiento de los campos electromagnéticos, los riesgos para la salud humana que puedan acarrear y las obligaciones normativas con respecto a la prevención de estos.

De la descripción de los objetivos puede establecerse la metodología a seguir por el trabajo. En primer lugar, se analizan, de forma somera, la legislación europea que establece las bases normativas de la protección frente al riesgo por exposición a campos electromagnéticos y, en mayor profundidad, la legislación española que la traspone y establece las medidas que se deben adoptarse frente a aquellos. Este paso es previo a la descripción de los campos electromagnéticos como fenómeno físico puesto que su definición legal es más restringida que la que puede considerar la literatura científica y acotará, por tanto, el objeto del trabajo. A continuación, se describen el fenómeno físico de los campos electromagnéticos, sus efectos sobre la salud considerados por la legislación y, como su resultado, los riesgos que pueda acarrear para la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a los mismos. Finalmente, se analizarán los métodos de evaluación de aquellos riesgos propuestos por el Real Decreto 299/2016 y se realizarán ejemplos de su aplicación. Las conclusiones del trabajo recogen el análisis de la idoneidad y utilidad de los métodos aplicados y, en caso de que las haya, las propuestas de mejora.

Como parte de las conclusiones del trabajo, se elaborará un tríptico o folleto resumen sobre el riesgo laboral por exposición a campos electromagnéticos, sus efectos y métodos de evaluación; a modo de información visual, fácil y rápidamente comprensible por cualquier prevencionista para adquirir una visión general sobre este riesgo. Será adjuntado al trabajo como Anexo IV.

DISCUSIÓN

Marco normativo específico.

De la Directiva 2004/40/CE a la Directiva 2013/35/UE, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).

El primer antecedente de acto de la Unión Europa en el establecimiento de límites a la exposición a campos electromagnéticos es la Resolución del 5 de mayo de 1994 sobre la lucha contra los efectos nocivos provocados por las radiaciones ionizantes del Parlamento Europeo en el que solicita a la Comisión que proponga, entre otras, medidas que incluyan reglamentaciones y normas que tengan como objetivo limitar la exposición de trabajadores y del público a radiaciones electromagnéticas no ionizantes (Res. del Parlamento Europeo, de 5 de mayo de 1994). La respuesta llega mediante la Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Por ser una recomendación, no se trataba de una norma vinculante. Pese a ser referida al público en general la recomendación cita, como la resolución que la motivó, a los trabajadores como parte del público expuesto y propone a los países miembros la especial atención de las condiciones de exposición en el ámbito profesional. Esta recomendación establece una excepción a la aplicación de los límites en el uso por razones médicas, en cuyo caso propone que se sopesen los riesgos y ventajas de la exposición por encima de las restricciones recomendadas (Rec. 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio).

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) es la primera normativa adoptada por la Unión con objeto de establecer medidas que protejan a los trabajadores de los riesgos asociados a los campos electromagnéticos. Su ámbito de aplicación es la exposición derivada del trabajo a los campos electromagnéticos, definidos estos en la misma como “los campos magnéticos

estáticos y los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias de hasta 300 GHz". A este respecto cabe destacar que en la Directiva ya no aparece la excepción al ámbito sanitario (Dir. 2004/40/CE del Parlamento y del Consejo, de 29 de abril).

La Directiva se fundamenta en el establecimiento de unos niveles límite de exposición que no deben ser superados en ninguna circunstancia y unos niveles de acción que conllevan la adopción de medidas determinadas encaminadas a evitar que se llegasen a superar los niveles límite. Las primeras obligaciones que establece para el empresario, como responsable de la exposición laboral a este riesgo, son la determinación de la exposición y la evaluación del riesgo. Si el resultado de una evaluación determinase que se superan los valores límite de exposición, la Directiva establece que debe actuarse de forma inmediata para su reducción; mientras que si se superan los niveles de acción esta circunstancia deberá señalizarse. Como establece la Directiva 89/391/CEE con respecto a todos los riesgos, este también debe ser objeto de información, formación y consulta de los trabajadores en los términos establecidos en sus artículos 10, 11 y 12. De forma similar se establece la obligación concerniente a la vigilancia de la salud de los trabajadores, según el artículo 14 de la citada Directiva. Finalmente, establece disposiciones sobre su modificación técnica y la obligación de ser transpuesta por los estados miembros a su ordenamiento interno.

A pesar de mantenerse en términos muy similares, la 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) derogó a la anterior del 2004. La principal razón para ello, como cita el preámbulo de la Directiva, fue la preocupación del colectivo médico a raíz de la supresión de la excepción de procedimientos médicos en el ámbito de aplicación de los límites de exposición (Dir. 2013/35/UE del Parlamento y del Consejo, de 26 de junio).

Además de la inclusión de la excepción al obligado cumplimiento de los valores límite de exposición en el ámbito sanitario, esta también se extiende a cualquier actividad relacionada con la investigación, el diseño, la instalación y el uso de equipos de imagen

por resonancia magnética para pacientes, dejando a discreción de los estados otras excepciones en el ámbito militar y otros sectores específicos en condiciones especiales. Otro cambio relevante en el ámbito de aplicación de la Directiva es la matización hecha a la exclusión de eventuales efectos a largo plazo sobre la salud de la exposición a campos electromagnéticos, encomendando a la Comisión el examen de los avances científicos que puedan probar su existencia y las propuestas legislativas pertinentes para desarrollar la prevención a aquellos.

En la aplicación de la Directiva existe un nuevo enfoque sobre los riesgos, antes observados globalmente, ahora dividiendo sus modos de acción entre efectos directos, considerando a su vez efectos térmicos y no térmicos, y efectos indirectos. Además, los valores límite de exposición ahora son divididos entre los relacionados con efectos sobre la salud, es decir, los debidos a efectos térmicos y de estimulación del tejido nervioso o muscular, y los límites relacionados con efectos sensoriales, que pueden ocasionar trastornos transitorios de las de las percepciones sensoriales y pequeños cambios en las funciones cerebrales. Para acoplarse a estos cambios, el anterior nivel de actuación es dividido en los niveles superior e inferior de actuación, en función de los diversos efectos y sus grados que pueden llegar a evitarse mediante el cumplimiento de cada uno. En su aplicación a campos eléctricos, los niveles superior e inferior se relacionan a las exigencias de medidas preventivas específicas en la norma, mientras que, para campos magnéticos, los niveles inferiores se relacionan con los efectos sensoriales y los valores superiores con los efectos para la salud. Debido a esta modificación, la forma en que se expresan los límites de exposición y niveles de actuación ha variado sensiblemente, si bien los valores límite no se han visto modificados con respecto a la norma anterior.

Finalmente, la Directiva dota a la Comisión de poderes para adoptar actos delegados para hacer las modificaciones técnicas pertinentes en el anexo que establece los límites de exposición y niveles de actuación, pudiendo adoptar nuevos o modificarlos, prorrogándose por períodos de 5 años salvo oposición del Parlamento Europeo o del Consejo. Como última novedad, se establece la elaboración de guías prácticas de la Directiva no vinculantes por parte de la Comisión con objeto de facilitar su aplicación.

El Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.

El Real Decreto 299/2016 es resultado de la trasposición de la Directiva 2013/35/UE y es la primera norma jurídica en España que regula la protección de los trabajadores frente a la exposición a campos electromagnéticos, ya que la Directiva 2004/40/CE no había sido traspuesta al ordenamiento español.

Este real decreto establece las disposiciones mínimas de protección frente a los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en el ámbito laboral. Como la Directiva, contempla efectos biofísicos directos y otros efectos indirectos que pueden ser causados por los campos electromagnéticos. A diferencia de la Directiva, el real decreto descarta categóricamente los posibles efectos a largo plazo de su ámbito de aplicación, mientras que aquella establecía una vigilancia de los avances científicos al respecto. En su ámbito de aplicación, el Real Decreto 299/2016 también excluye los riesgos derivados de los contactos eléctricos directos e indirectos, que la Directiva consideraba un efecto indirecto en su definición de aquellos (RD 299/2016, de 22 de julio).

Como la Directiva, el real decreto establece las excepciones a la superación de los niveles límite de exposición a la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de imagen por resonancia magnética para pacientes en el ámbito sanitario, siempre y cuando se haya realizado la evaluación de riesgos, demostrando superar el nivel límite, que se hayan aplicado todas las medidas técnicas y organizativas posibles, teniendo en cuenta el lugar de trabajo, las prácticas de trabajo y el equipo, que quede justificado por las circunstancias, que se demuestre la protección frente a los efectos adversos del riesgo mediante instrucciones de uso seguro. Esta excepción es extensible al personal en instalaciones militares por autorización de la autoridad competente. Finalmente, de nuevo a imitación de la Directiva, la autoridad laboral competente podrá autorizar la superación del límite temporalmente y siempre que esté justificado en sectores o actividades específicas, considerando que para estar justificado deben haberse adoptado medidas análogas a las exigidas en el ámbito sanitario.

o mediante la demostración por el empresario de la protección mediante normas comparables, más específicas y reconocidas internacionalmente.

Disposiciones encaminadas a evitar o reducir la exposición.

El real decreto regula las disposiciones encaminadas a evitar siempre que sea posible o a reducir los riesgos cuando no lo sea. Cuando se determine como resultado de la evaluación de riesgos la superación de los niveles de acción el empresario debe elaborar y aplicar un plan de acción para evitar superar los niveles límite de exposición. Este plan debe basarse en métodos de trabajo de menor exposición, la elección de equipos que generar campos electromagnéticos de menor intensidad, medidas técnicas de reducción de emisión y exposición, medidas de señalización de la zona de exposición y limitación de acceso, medidas y procedimientos de control de eventuales contactos eléctricos y descargas, establecer programas de mantenimiento de los equipos, diseñar adecuadamente el lugar de trabajo y la disposición de los puestos en el mismo, limitar la duración e intensidad de la exposición y poner a disposición de los trabajadores los equipos de protección individual necesarios. Además, este plan deberá tener en cuenta a los trabajadores especialmente sensibles y cualquier otro riesgo provocado por efectos indirectos. En relación con estos trabajadores, además, podrá requerirse la adaptación de las medidas anteriores, especialmente en el caso de embarazadas o trabajadores que lleven implantados dispositivos médicos cuyo funcionamiento pueda verse afectado por la presencia de campos electromagnéticos, como los marcapasos cardíacos o bombas de insulina.

Todas las zonas en los que la exposición supere los niveles de acción deben ser señalizadas de acuerdo con el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (RD 485/1997, de 14 de abril). Si es necesario, se deberá limitar el acceso a las mismas. Alternativamente, si los trabajadores han sido informados del riesgo y el acceso está limitado por otros motivos, no será necesario adoptar las medidas mencionadas.

Como la Directiva, el real decreto permite superar en determinadas circunstancias los niveles inferiores de acción. En el caso de los campos eléctricos, y siempre que no se

supere el nivel superior de acción, el empresario deberá dar formación específica a los trabajadores, usar medios técnicos como la conexión equipotencial, el empleo de equipos de protección individual como calzado, guante y ropa aislante. En el caso de campos magnéticos, el nivel inferior de acción puede superarse siempre que se actualice la evaluación si un trabajador refiera algún síntoma o trastorno transitorio como percepciones sensoriales o de funcionamiento del sistema nervioso en la cabeza en caso de campos magnéticos variables o vértigo o náuseas en caso de estar expuesto a campos magnéticos estáticos.

Otras obligaciones del empresario: Información y formación de los trabajadores, consulta y participación de los trabajadores y vigilancia de la salud.

Cuando un riesgo no haya podido evitarse, el empresario debe informar a los trabajadores y a los representantes de los trabajadores, dando formación específica a los primeros, sobre el riesgo de exposición a campos electromagnéticos y nivel al que se encuentran expuestos como resultado de la evaluación, el significado de los valores límite y niveles de acción, los posibles riesgos asociados, las medidas adoptadas en aplicación de la norma, en particular, las medidas preventivas, los posibles efectos indirectos, la detección e informe de los efectos adversos, los síntomas y trastornos transitorios que puedan surgir, las circunstancias que dan derecho a la vigilancia de la salud, las prácticas de trabajo seguras. La formación e información deberá realizarse prestando especial atención a los trabajadores sensibles si los hubiera.

Como resultado de la exposición a este riesgo, los trabajadores y sus representantes tienen derecho a la consulta y participación realizadas de acuerdo con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995, de 8 de noviembre).

La vigilancia de la salud en relación con los riesgos debidos a la exposición a campos electromagnéticos debe garantizarse por el empresario. Incluirá la elaboración y actualización de la historia clínico-laboral de los trabajadores en las condiciones de confidencialidad y acceso pertinentes. Esta vigilancia deberá ofrecerse a trabajadores que informen de algún efecto indeseado o inesperado para la salud o siempre que se detecte la superación de los valores límite de exposición.

Limitación de la exposición. Valores límite de exposición y niveles de acción.

La exposición en ningún caso debe superar los valores límite de exposición establecidos tanto para los efectos para la salud como para los efectos sensoriales salvo en los casos exceptuados en los puntos anteriores. En caso de que superen, se requiere una intervención inmediata para analizar las causas de tal circunstancia y estableciendo nuevas medidas de prevención o protección para evitar que se vuelvan a superar. Se debe documentar esta situación para garantizar su seguimiento y consulta posteriores.

La explicación de las unidades utilizadas, límites de exposición y niveles de acción se encuentran expresados en función de los efectos, térmicos o no térmicos, que ocupan los anexos I, II y III del Real Decreto 299/2016 y que se han recogido en el Anexo I, Magnitudes físicas relativas a la exposición a campos electromagnéticos, valores límite de exposición y niveles de acción del Real Decreto 299/2016 de este trabajo.

Evaluación de los riesgos.

El real decreto establece, en consonancia con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención (RD 39/1997, de 17 de enero), que el empresario debe evaluar los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en el lugar de trabajo. Esta evaluación podrá hacerse pública, siempre cumpliendo con la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal si la evaluación incluyese información sujeta a la misma, y pudiendo el empresario negarse a divulgarla o hacerla pública.

La evaluación deberá constar de una identificación y evaluación según lo indicado en la Guía técnica que el real decreto ordena elaborar al Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, aún no publicada en la fecha entrega de este trabajo¹. En su defecto, el real decreto establece como referencia las guías de la Comisión Europa, que este trabajo analiza posteriormente. Como último recurso de evaluación, la norma establece como referencias los niveles de emisión de campos electromagnéticos comunicados por los

¹ A 30 de noviembre de 2018.

fabricantes y distribuidores de los equipos. Cuando el cumplimiento de los valores límite de exposición no pueda establecerse mediante información sencilla de recabar, deben llevarse a cabo mediciones o cálculos, cuya incertidumbre relativa deberá ser tenida en cuenta.

La evaluación deberá realizarse siempre por personal cualificado para el desempeño de las funciones de nivel superior con la especialidad de higiene industrial, inicialmente y siempre que se produzcan daños a la salud de los trabajadores o se detecte que las actividades preventivas puedan ser adecuadas o insuficientes, tal y como establece el artículo 6 del Reglamento de los Servicios de Prevención, y también deberá actualizarse periódicamente y, en particular, siempre que haya un cambio en las condiciones de trabajo o en la vigilancia de la salud que dejasen desfasada la evaluación. Los resultados de la evaluación deberán conservarse como información documentada para permitir su consulta posterior.

La evaluación debe considerar los valores límite de exposición relaciones con efectos para salud y sensoriales y los niveles de acción inferiores y superiores, la frecuencia, el nivel, la duración y el tipo de exposición, incluida la distribución del campo electromagnético por el lugar de trabajo y en el cuerpo del trabajador, los efectos biofísicos directos, cualquier posible efecto sobre trabajadores especialmente sensibles, en especial las trabajadoras embarazadas y los trabajadores que lleven dispositivos médicos implantados, los efectos indirectos, la existencia de equipos sustitutivos con menores niveles de emisión de campos electromagnéticos, la información obtenida por la vigilancia de la salud, la información facilitada por el fabricante o distribuidor del equipo, las fuentes de exposición múltiples y la exposición simultánea a campos de múltiples frecuencias o cualquier otra información pertinente sobre la salud y seguridad.

Se considerará que no resulta necesaria la evaluación de la exposición en lugares de trabajo abiertos al público, siempre que se haya evaluado conforme a las disposiciones que establecen los límites de exposición a campos electromagnéticos del público en general. No obstante, puesto que el empresario debe disponer de una evaluación de riesgos, esta podrá incluir las razones que justifiquen que la evaluación de este riesgo sea innecesaria.

Campos electromagnéticos y salud.

Es bien sabido que las fuentes de radiación sean naturales o artificiales, emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas consisten en campos eléctricos y magnéticos que pueden ser estáticos o variables. En ambos casos, estos son susceptibles de interaccionar con los seres vivos, habida cuenta de que este fenómeno es utilizado por los mismos como sistema de transmisión nerviosa o ejecución de señales intracelulares. Como causa de esta interacción, en las últimas décadas ha aumentado la preocupación por sus posibles efectos sobre la salud humana.

Para entender adecuadamente los mecanismos por los que los campos electromagnéticos pueden incidir en la salud de los trabajadores expuestos se hace necesario establecer unas nociones básicas de la descripción física de los mismos.

Descripción de los campos electromagnéticos.

Fundamentos físicos del campo eléctrico.

Toda la materia está formada por átomos, constituidos a su vez por electrones, protones y neutrones. Electrones y protones cuentan con carga eléctrica, negativa los primeros y positiva los segundos; en ambos casos, en términos absolutos, de $1,602 \times 10^{-19}$ culombios, unidad de carga en el sistema internacional de unidades. Puesto que en cualquier átomo se encuentran en la misma cantidad, la materia es, globalmente, eléctricamente neutra. Sin embargo, los átomos pueden ganar o perder electrones: en este caso se llaman iones y, en función de si adquirió o perdió electrones, la materia que estos iones constituyan adquirirá una carga negativa o positiva, respectivamente.

La presencia de una carga eléctrica genera una perturbación en el espacio que afectará, ejerciendo una fuerza, a toda partícula cargada: a esto denominamos campo eléctrico, que es, matemáticamente, un campo vectorial. El campo generado por una carga, considerando las leyes de Coulomb y de Lorentz, es proporcional a la carga, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la misma y depende de la permitividad eléctrica del vacío, ϵ_0 , y de la forma de la carga. Así, para una carga puntual q , el campo eléctrico en función de la distancia $E(r)$ es:

$$E(r) = \frac{q}{r^2 \cdot (4\pi\epsilon_0)}$$

Esta relación variará en función de la forma de la materia cargada, que solo idealmente será puntual, y en cuyo caso se deberá recurrir al Teorema de Gauss, es decir, a que el flujo de campo eléctrico de una superficie cerrada es igual a la carga total encerrada en el volumen del que dicha superficie es frontera, aunque el desarrollo de tal teorema excede los objetivos de este trabajo. Basta saber que este teorema permite calcular el campo eléctrico de, por ejemplo, cuerpos cilíndricos como los cables y líneas eléctricas.

Es conveniente recordar que cargas de signos opuestos experimentarán una fuerza atractiva, mientras que será repulsiva en caso contrario. De este modo, cualquier carga q en el campo E producido por otra carga estará sometido a una fuerza F tal que:

$$F = q \times E$$

La anterior ecuación hace evidente que la unidad del campo eléctrico es el newton, unidad de fuerza, por culombio. Además, puesto que el campo eléctrico es conservativo, este campo vectorial puede ser traducido a un campo escalar denominado potencial, concepto más familiar que el de campo eléctrico y usado con más frecuencia. Así, un campo eléctrico E puede expresarse en términos de diferencia de potencial V por variación de la distancia, que podemos considerar en un único eje x por simplicidad.

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta x}$$

La unidad de potencial en el sistema internacional de unidades es el voltio, por lo que la relación anterior establece la equivalencia entre el newton por culombio y el voltio por metro, unidad utilizada en las definiciones adoptadas por la legislación en materia de prevención de la exposición a campos electromagnéticos (Tipler y Mosca, 2004).

Fundamentos físicos del campo electromagnético.

De justificación más compleja, es conocido que las cargas en movimiento o corrientes eléctricas crean un campo magnético. Hans Christian Orsted demostró que el paso de una corriente por un conductor afectaba a una aguja magnética en su proximidad, que tendía a colocarse tangente a una circunferencia centrada en el conductor y perpendicular a él. Este efecto es análogo al comportamiento de un dipolo eléctrico en un campo eléctrico. Sin embargo, la separación del dipolo eléctrico generará dos cargas de signo contrario que se moverán en sentido contrario bajo el campo eléctrico, mientras que una aguja imantada bajo un campo magnético que sea partida por la mitad generará dos agujas imantadas del mismo comportamiento. Esto último da cuenta de la existencia no de cargas magnéticas sino de dipolos indivisibles, cuyas polaridades denominamos norte y sur; en consonancia, las líneas de campo magnético son cerradas, a diferencia de las del campo eléctrico (Al-Khalili, 2015).

Estos fenómenos se pueden explicar mediante una fuerza F experimentada por una carga en movimiento con velocidad v sometida a un campo magnético B , cuya unidad en el sistema internacional de unidades es el tesla, según la siguiente expresión:

$$F = qv \times B$$

El campo magnético también afectará a un conductor de corriente eléctrica según la ley de Laplace en función de la intensidad de la corriente y la longitud. La unidad de campo magnético en el sistema internacional es el tesla, unidad equivalente a un newton por culombio y metro por segundo.

No obstante, el origen del campo magnético, como se ha establecido, es la circulación de corriente. En el caso más general, el campo magnético en función de la distancia r al conductor depende de la intensidad de corriente y el volumen en el que tiene lugar la misma, definidas mediante el vector densidad de corriente J , relacionadas mediante la constante de permeabilidad magnética del vacío, μ_0 , según la siguiente expresión:

$$B(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{J(r') \times (r - r')}{|r - r'|^3}$$

Otro concepto de interés es la intensidad de campo magnético. En la experiencia de la aguja imantada se observa su comportamiento similar al dipolo magnético en una espira de corriente. La ausencia de espiras visibles se explica porque estas están presentes en la constitución atómica de la materia, pudiendo considerar una espira de corriente a cada órbita de los electrones que forman parte de los átomos que constituyen la aguja. Al someter a un campo magnético una sustancia en la que existan electrones desapareados con espín estos adquirirán un momento magnético que reforzará, en el caso de las sustancias diamagnéticas, o se opondrá, en el caso de las paramagnéticas, al campo magnético al que la sustancia esté sometida. Sometida a este efecto, la alineación de la aguja bajo un campo magnético da lugar a una imanación global en el interior del material. Por ello, para distinguir la contribución de la magnetización al campo total M se define la intensidad de campo magnético H , de modo que:

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

La intensidad de campo magnético se expresa en amperios por metro. No obstante, cuando medimos en el espacio libre y en la materia biológica, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden utilizar indiferentemente ya que campo magnético interno es despreciable, según la equivalencia:

$$B = \mu_0 H$$

Campos electromagnéticos variables.

Establecidos los fundamentos físicos de los campos eléctrico y magnético, resta por conocerse su íntima relación, establecida por la ley de inducción de Faraday; quien descubrió que la variación del flujo magnético en una superficie limitada por un circuito produce en el mismo un voltaje inducido o fuerza electromotriz. Este efecto puede producirse por una variación del campo magnético en el tiempo o por el movimiento relativo de un campo magnético estático en el seno de un conductor, que del mismo modo hace variable el flujo magnético al que está sometido el circuito. Este efecto funciona

también en sentido inverso, tal como descubrió James Maxwell, y es que un campo eléctrico variable en el tiempo produce a su vez un campo magnético variable en el tiempo. Este es el fundamento que explica la propagación de las ondas electromagnéticas sin necesidad de un soporte material de manera que, una vez generada una perturbación electromagnética, ésta se propagará por sí misma en una fluctuación de los campos eléctrico y magnético (Al-Khalili, 2015).

No obstante, debe reseñarse la circunstancia de que los campos deben ser variables. Cuando una carga eléctrica no se mueve o lo hace de forma continua, es decir, en el mismo sentido, ésta genera un campo eléctrico estático en los términos en que se ha referido anteriormente en el apartado previo. La existencia de un imán o de una corriente eléctrica continua también dará lugar a un campo magnético estático de la misma forma. Debe destacarse que, en el caso de las corrientes eléctricas, si la corriente es de elevada intensidad, será de mayor importancia el campo magnético, mientras que, si la corriente se caracteriza por su elevada tensión, lo será el campo eléctrico.

Sin embargo, como ya se ha adelantado, la corriente eléctrica puede variar con el tiempo. Como se ha explicado en el caso de la generación de campos eléctricos, estos pueden producirse mediante el movimiento relativo o variación de otro campo magnético, de forma que el sentido del movimiento de la corriente oscilará. Este es el caso de la corriente alterna. La cantidad de veces que un campo fluctúa por segundo se mide en hercios. Los campos estáticos, de 0 Hz, evidentemente no fluctúan. Los campos que fluctúan a muy pocos hercios, denominados de frecuencia extremadamente baja o cuasiestáticos, presentan sus campos eléctrico y magnético desacoplados por lo que, en la práctica, el campo eléctrico y el magnético podrán analizarse independientemente.

Por lo general, los campos electromagnéticos variables a frecuencias a partir de los 300 Hz ya no pueden ser desacoplados y deben ser considerados conjuntamente. Sin embargo, hasta los 10 MHz aún podrán considerarse campos eléctricos y magnéticos por separado cuando se considere una exposición cerca de la fuente debido a que en el entorno inmediato a una fuente de radiación electromagnética los campos también aparecerán desacoplados, en el espacio conocido como campo cercano, que será tanto mayor cuando

menor sea la frecuencia, extendiéndose hasta una distancia que pueda fijarse en tres veces la longitud de onda.

Recapitulando, un campo magnético que varía en el tiempo relativamente a un circuito eléctrico genera en este una corriente eléctrica variable y, recíprocamente, una corriente eléctrica que fluctúa produce un campo eléctrico variable, dando lugar a una corriente de desplazamiento que actúa de modo análogo a la de conducción y es, de nuevo, fuente del campo magnético, propagando la perturbación indefinidamente. Cuando las fuentes evolucionan en el tiempo se produce la emisión y propagación de radiación en forma de ondas electromagnéticas, que no necesitan de soporte material, y que se componen de campos eléctricos y magnéticos oscilantes entrelazados. En las ondas electromagnéticas no cabe analizar independientemente ambos campos, sino que se considera globalmente la potencia radiante, generalmente por área, producida por ambos. A esta magnitud la denominamos densidad de potencia (Fishbane, Gasiorowicz, y Thornton, 2005).

Las principales aplicaciones de estos campos, incluyendo los cuasiestáticos, son los circuitos de corriente alterna, tanto domésticos como las líneas de transporte eléctrico, los ya poco utilizados televisores y monitores de tubo de vacío, los transformadores, las antenas de telecomunicaciones, el radar, la localización por satélite, los radiotelescopios, los hornos de microondas, las antenas de radiofrecuencia o las antenas de telefonía móvil, entre otras muchas.

Efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos.

La OMS definió en 2003 los efectos biológicos como respuestas medibles a un estímulo, mientras que un efecto sobre la salud es aquel que ocasiona una disfunción detectable de la salud de la persona expuesta o de la de sus descendientes (WHO, 2003).

Conviene establecer las bases que fundamentan los posibles efectos de los campos electromagnéticos sobre los seres humanos, y que son la causa por la que se hace necesario establecer la protección de los trabajadores frente a la exposición profesional a campos electromagnéticos. En particular, aquellas a las que las propias normas hacen referencia y para las que se han determinado unos límites de exposición que permitan

evitarlas. Cuando esto no sea posible, la relación se establece no en función de efectos biológicos sino de estudios epidemiológicos que relacionen con un alto grado de certeza las afecciones a la salud con determinados niveles de exposición a campos electromagnéticos.

Como primera aproximación, cabe considerar a la materia viva como un medio asimilable a una disolución iónica buena conductora de la electricidad. Es, además, un medio con actividad eléctrica interna, como la que se produce en el intercambio iónico de las células, los sistemas nervioso y locomotriz. Es también un medio globalmente permeable a los campos magnéticos (Gutiérrez, 2001).

Uno de los principales efectos biológicos es aquel relacionado con las corrientes eléctricas que los campos electromagnéticos puedan inducir, causando el calentamiento de los tejidos por efecto Joule, que consiste en la disipación de potencia eléctrica en forma de calor. Otro efecto que puede aumentar la temperatura del medio biológico es el de resonancia de moléculas que puedan actuar como dipolos, como la del agua. En general, para un ser humano medio, el umbral de disipación puede ubicarse en torno a los 4 W/kg. Por encima de este umbral, que es variable según el tipo de tejido expuestos, los tejidos comenzarán a calentarse. Como consecuencia del aumento de temperatura, también el sistema biológico se ve alterado. De cualquier modo, estos efectos son difícilmente separables de los efectos no térmicos, ya que se producen simultáneamente. Es por esta razón que la diferenciación entre ambos se establece no en un calentamiento efectivo, sino en si la radiación da una potencia radiante superior a los 5 W/m^2 , en cuyo caso se considerarán efectos térmicos (Balmori, 2004).

En cualquier caso, esta diferencia es importante pues los efectos térmicos se consideran cuando existe una relación lineal entre el efecto biológico, el aumento de temperatura, y la dosis recibida de exposición a un campo electromagnético, mientras que los efectos no térmicos no parecen tener una relación lineal con la dosis absorbida (Hinrikus, Karpowicz, u Naarala, 2018).

Así pues, el Real Decreto 299/2016 separa los límites para diferentes frecuencias de campos electromagnéticos según la implicación de efectos térmicos o no térmicos de

los riesgos asociados a la exposición a aquellos. Por este motivo, se adapta esa división a este trabajo a la hora de considerar los efectos sobre los seres humanos de cada rango establecido por la norma.

Efectos no térmicos de campos magnéticos de 0 a 1 Hz

Los campos magnéticos estáticos son usados, principalmente, en el ámbito sanitario de equipos de imagen por resonancia magnética. Estos equipos pueden utilizar campos magnéticos de hasta de 7 teslas en el campo de la investigación. En comparación, el máximo campo magnético terrestre se ha estimado en 65 microteslas. A pesar de que existe una excepción en la norma sobre la aplicación de los valores límite de exposición en este ámbito, son los estudios en el mismo los que más información proporcionan sobre los efectos de la exposición (Batistatou et al., 2016). Otras fuentes pueden ser sistemas electrolíticos que produzcan corrientes eléctricas continuas, los sistemas de levitación magnética o los generados por los vehículos eléctricos.

Un campo magnético estático ocasiona la orientación de los dipolos magnéticos orientándolos en el sentido del campo. Esto puede inducir campos eléctricos al desplazarse en inmersión en un campo magnético, evidentemente, de mayor consideración cuanto mayor sea la intensidad del campo. Algunos de los efectos reportados incluyen somnolencia o cansancio inusual, problemas de concentración, dolor de cabeza, desórdenes del sueño, alteraciones del equilibrio, náuseas o vértigos, aunque también su pronta desaparición una vez termina el periodo de exposición y se aventura algún tipo de adaptación en periodos de entre 4 y 8 semanas (Zanotti, Ligabue, y Gobba, 2015). Los efectos más graves incluyen alteraciones del ritmo cardíaco que pueden conllevar un riesgo grave de enfermedades relacionadas con el corazón (Savitz, Liao, Sastre, Kleckner, y Kavet, 1999).

Efectos no térmicos de campos eléctricos «in situ» de 1 Hz a 10 MHz sobre la salud.

Los campos de baja frecuencia son generados habitualmente por redes de conducción de energía eléctrica y cableado doméstico, electrodomésticos y en general, pequeños aparatos que utilicen energía eléctrica, como ordenadores, mantas eléctricas o

cocinas de inducción. También se incluyen en este espectro los campos de radio AM y, en el límite superior de frecuencias, los FM.

Debe incidirse en la consideración «*in situ*» de estos campos. Al ser de baja frecuencia y considerarse en un entorno cercano, todavía no puede establecerse que los campos eléctrico y magnético estén acoplados, y por lo tanto cabe evaluar los efectos del campo eléctrico independientemente. Los campos eléctricos estáticos o cuasiestáticos pueden estimular eléctricamente todos los tejidos, siendo los más afectados la cabeza y el sistema nervioso. Se han documentado alteraciones de la actividad celular en experimentos *in vitro* (Lai, 2005), así la actividad de los campos eléctricos en estas frecuencias de actuar como inductores de la expresión de genes relacionados con la respuesta al estrés, es decir, de ser de hecho estresores. En experimentos *in vitro*, las frecuencias más altas de este rango pueden incluso romper las hebras de ADN (Blank y Goodman, 2009). No obstante, estos efectos también se han propuesto como método de estimulación del sistema autoinmune, por ejemplo, para el tratamiento de patologías neurodegenerativas (Guerriero y Ricevuti, 2016).

En definitiva, en la actualidad aún es necesario mayor estudio de los efectos en este rango de frecuencias teniendo en cuenta, entre otros factores, que las afecciones de estos campos se producen en sistemas biológicos dinámicos donde no solo es importante la intensidad a la que están sometidos, parámetro utilizado para el establecimiento de límites de exposición en la normativa actual, sino también de la duración de la excitación (Klonowski, 2017). De cualquier modo, evidentemente la inmersión en campos de elevada intensidad conllevará un grave riesgo por contacto eléctrico en presencia de otros conductores.

*Efectos sensoriales no térmicos de campos eléctricos «*in situ*» de 1 Hz a 400 Hz*

Los campos electromagnéticos en este rango de frecuencias, considerados cuasiestáticos, que están solapadas con las frecuencias más bajas consideradas en el caso anterior, se han asociado con efectos sobre el sistema nervioso central, como fosfenos retinianos y cambios transitorios en algunas funciones cerebrales.

En el caso de los fosfenos retinianos, se ha encontrado que estos se producen especialmente en el rango de 1 a 45 Hz, con un máximo en torno a los 20 Hz (Lövsund, Öberg, y Nilsson, 1980). Aunque no considerados por la legislación actual, se han descrito algunas posibles afecciones debidas a campos magnéticos en este rango de frecuencias, en general de naturaleza análoga a los eléctricos, con efectos transitorios en la cognición (Cook, Thomas, y Prato, 2002).

Cabe destacar, no obstante, que la intensidad, y por tanto los efectos debidos a estos campos decrece sustancialmente con la distancia a la fuente.

Efectos térmicos de campos electromagnéticos de 100 kHz a 6 GHz sobre la salud.

Estas frecuencias del espectro electromagnético, en el rango de radiofrecuencia, son utilizadas para aplicaciones de telecomunicaciones, abarcando desde las frecuencias superiores de radiodifusión, televisión, satélites, telefonía móvil o radar. En el rango más alto de frecuencias, en torno a 2,45 GHz, operan los magnetrones de los hornos microondas.

Los efectos térmicos de estos campos se relacionan con el aumento de la temperatura de los tejidos. Si el aumento no es severo, inferior a 1°C, la sangre que circula por el tejido es capaz de disipar el exceso de calor. Sin embargo, cuando la exposición es superior o el tejido cuenta con menor nivel de vascularización, puede dar lugar a daños irreversibles (Visser, 2012).

Debe considerarse que los efectos no térmicos referidos con anterioridad también se producen simultáneamente a los efectos térmicos, al menos y teniendo en cuenta lo difusa que esta frontera fijada por la legislación puede ser respecto de la biofísica, hasta los 0,1 GHz (Hinrikus et al., 2018).

Efectos sensoriales térmicos de campos electromagnéticos de 300 MHz a 6 GHz.

Los límites de este fragmento del espectro electromagnético coinciden con los establecidos para el rango de microondas, a excepción de las de frecuencia más elevada. Esta banda es utilizada, con más especificidad que en el caso anterior, por hornos microondas, equipos de diatermia quirúrgica o sistemas antirrobo.

En este rango de frecuencias se produce un sonido “fantasma” en el oído, normalmente percibido como un silbido, zumbido o siseo, e incluso como golpes o chasquidos, que evidentemente pueden llegar a alcanzar elevados niveles subjetivos de molestia. Se han propuesto varios mecanismos para explicar este fenómeno (Lin, 1976). Este fenómeno también ha sido identificado como causante de pérdida de audición (Oktay et al., 2004) y como posible causa de génesis de cataratas (Stewart-DeHaan et al., 1983).

Efectos térmicos de campos electromagnéticos de 6 a 300 GHz sobre la salud.

Esta banda de frecuencias abarca las microondas de frecuencia súper alta y extremadamente alta. Es utilizada por antenas de radionavegación, radiodifusión y radares.

Debido a su elevada frecuencia, la penetración es muy pequeña, por lo que son absorbidas mayoritariamente por tejidos superficiales, en los que se puede producir calentamiento.

La protección de la seguridad y la salud de trabajadores expuestos a campos electromagnéticos.

Con el fin de determinar las principales medidas de prevención y protección frente a los riesgos expuestos cabe hacer algunas últimas consideraciones sobre los campos electromagnéticos y los factores de exposición.

En cuanto a los campos estáticos, los magnéticos podrán ocasionar efectos según los mecanismos ya advertidos, pero los eléctricos solo inducirán corrientes eléctricas de importancia en los seres humanos cuando estos se desplacen inmersos en ellos.

Los campos de muy baja frecuencia sí aparecen de forma general corrientes inducidas, pero éstas serán de escasa intensidad y relevancia, siempre que no operen bajo intensidades muy altas, generando potenciales especialmente elevados. Los campos electromagnéticos de frecuencias altas generan como principal efecto el calentamiento de los tejidos, sin embargo, cuando estas comiencen a ser especialmente elevadas su capacidad de penetración se reducirá considerablemente.

Medidas organizativas.

En primer lugar, por ser de mayor importancia, evidentemente cualquier zona sometida a campos electromagnéticos de intensidad elevada y, en particular, cuando se superen los niveles de acción determinados por la normativa, debe señalizarse la zona en la que estos campos existan. Es recomendable establecer el acceso limitado a estas zonas, y muy conveniente adoptar esta medida en caso de que se superen los niveles superiores de acción. Esta señalización debe conjugarse con la identificación de los trabajadores especialmente sensibles, la información a los mismos de la existencia de este riesgo particular para su salud y establecer, si es necesario, una prohibición de acceso expresa para aquellos, en particular, embarazadas y trabajadores con dispositivos médicos implantados.

Por supuesto, con carácter general, los trabajadores expuestos a estas zonas deben ser formados e informados sobre este riesgo, las circunstancias de la exposición, las medidas preventivas adoptadas, los procedimientos de trabajo seguros y sus derechos a la participación, la consulta y la vigilancia médica y las formas de ejercerlos.

Siempre que sea posible, las fuentes de estos campos se sustituirán por fuentes que no produzcan campos, o que los produzcan de menor intensidad o efectos menos graves. Tampoco se expondrá a trabajadores innecesariamente. Deberán establecerse procedimientos de trabajo seguros, dando prioridad a medidas que impliquen la extinción de estos campos por desconexión de sus fuentes cuando deba trabajarse en su proximidad. Cuando esto no sea posible, en general, y puesto que su intensidad decrece con la distancia a la fuente, deberían adoptarse medidas de alejamiento. En el caso de los campos magnéticos estáticos deberán evitarse las maniobras que requieran internarse en estos campos; cuando sea necesario hacerlo, se debe establecer que el desplazamiento se realice con lentitud, evitando movimientos bruscos, ya que es el movimiento relativo a estos campos el origen de la inducción, como se explicó. Otras medidas organizativas a adoptar pueden incluir la supervisión cuando se realicen trabajos sometidos a la exposición a campos electromagnéticos o la entrega de instrucciones de trabajo escritas.

Otras buenas prácticas de trabajo a incluir en procedimientos de trabajo son la correcta posición con respecto a la fuente, evitando las áreas más expuestas a las ondas electromagnéticas donde la tasa de absorción es superior, el alejamiento de los cables que alimentan las fuentes, el establecimiento de controles y planes de mantenimiento para verificar el correcto funcionamiento de la fuente incluyendo y, cuando proceda, las inspecciones técnicas necesarias. Estas podrán ser necesarias, en particular, en casos donde sean previsibles fugas de radiación por defectos del aislamiento o apantallamiento.

Cobra especial relevancia el diseño de los lugares de trabajos, puesto que la disposición de las fuentes y posibles apantallamientos puede tener una gran influencia en su contribución a la reducción de la exposición. Sin embargo, esto no es aplicable a los campos magnéticos estáticos, muy permeables y que, de hecho, deberán tenerse en cuenta en zonas cercanas a la fuente, aunque estén separadas físicamente.

Estas medidas deberán considerar también los casos en que los campos electromagnéticos puedan acarrear riesgos indirectos. En tales casos, pueden establecerse procedimientos de trabajo que eviten el acceso portando materiales o herramientas ferromagnéticas, el uso de ropa de trabajo, calzado y/o guantes aislantes o de protección y cualquier otra medida de protección adicional necesaria. De cualquier modo, la elección concreta del equipo de protección dependerá de la naturaleza de los riesgos concretos que se deseen prevenir, debiendo ser motivada por una adecuada evaluación de estos. En otros casos, puede que los campos electromagnéticos deban ser considerados como factores a la hora de utilizar determinados equipos de protección, por ejemplo, de protecciones que conste de metales ferromagnéticos o conductores.

Medidas técnicas.

La principal medida técnica que puede adoptarse frente a los campos electromagnéticos, cuando no haya sido posible extinguir o sustituir la fuente, es el apantallamiento de la radiación. El apantallamiento consiste en la cobertura mediante un material conductor de la electricidad de una fuente, impidiendo que las ondas electromagnéticas puedan escapar de él. Este efecto es conocido como jaula de Faraday. Este material puede ser una superficie, pero también una malla, y estar constituido por

una o varias capas, en función de las necesidades de acceso o ventilación de la fuente. La eficacia de este método se basa en su continuidad, y los espacios de los que conste deben ser menores que la longitud de onda de la radiación que se quiere contener. Pueden ser de utilidad, a este respecto, dispositivos automáticos de bloqueo recíproco que apaguen la fuente cuando la integridad del apantallamiento no esté asegurada y de dispositivos de enclavamiento.

Los campos estáticos y los de baja frecuencia, como ya se ha adelantado, no son fácilmente apantallables. En el caso de los campos magnéticos, puede optarse por la generación de campos magnéticos opuestos interponiendo circuitos compensadores, aunque esto puede interferir en el proceso en que el campo esté siendo utilizado.

En consonancia con la limitación del acceso propuesta entre las medidas organizativas, cabe la posibilidad de establecer protecciones de acceso que aseguren la operatividad y buena aplicación de aquellas. Estas protecciones, que puedan ser fijas o móviles en función de las necesidades del lugar de trabajo, además pueden contar con otros medios técnicos que apantallen o anulen los campos electromagnéticos. Estos medios pueden consistir, por ejemplo, en la circulación de corrientes de una fase determinada que cancele el campo magnético. El apantallamiento de estas radiaciones también puede constar de dispositivos de bloqueo recíproco a fin de evitar la exposición cuando se acceda a las zonas donde operen las fuentes de campos electromagnéticos. Cuando estas protecciones no sean posibles, pueden adoptarse otros medios de control de acceso como cortinas ópticas o escáneres, que accionen idénticos sistemas automáticos que pongan fuera de funcionamiento las fuentes.

La evaluación del riesgo de exposición a campos electromagnéticos.

La obligación de evaluar el riesgo por exposición a campos electromagnéticos en el Real Decreto 299/2016.

En consonancia con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención, el empresario debe evaluar los riesgos derivados de cualquier exposición de los trabajadores a su cargo a campos electromagnéticos con objeto de llevar a cabo las actividades preventivas necesarias. Como está atribuido en el

citado Reglamento, la evaluación de este riesgo corresponde a personal cualificado del nivel superior con la especialidad de higiene industrial.

Es una novedad que la norma considere la eventual publicidad de esta evaluación, siempre que se protejan los datos de carácter personal y los intereses comerciales del empresario, cuya autorización es necesaria para hacer pública la evaluación. En cualquier caso, la evaluación es parte de la documentación del sistema preventivo que debe conservarse. También pueden formar parte de la evaluación de riesgos, en su caso, las razones por las que se considerase innecesaria la evaluación detallada de los riesgos relacionados con los campos electromagnéticos.

El real decreto considera tres vías evaluación sobre la base de identificar y evaluar los campos en el lugar de trabajo. En primer lugar, la Guía técnica que la misma norma encarga al Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, que en la fecha de elaboración de este trabajo aún no ha sido publicada. En segundo lugar, las guías de la Comisión Europea, que por serlo de la Directiva que es traspuesta mediante este real decreto, deben ser análogamente aplicables. Por último, la norma considera que la evaluación también podrá realizarse, en los casos que corresponda, considerando los niveles de emisión de productos facilitados por el fabricante o distribuidor de un equipo en comparación con la norma de seguridad general de los productos que le sea de aplicación. En cualquier caso, como establece la Ley 31/1995, la evaluación deberá actualizarse periódicamente y siempre que se modifiquen las condiciones que puedan dejarla desfasada o se haga necesario a la luz de resultados obtenidos de la vigilancia de la salud de los trabajadores.

La norma prevé una evaluación simple, estableciendo que “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”, es decir, previendo una evaluación basada en mediciones en caso de que no fuese posible determinar la seguridad de la exposición por métodos más sencillos. Evidentemente, en caso de evaluar una exposición que, bajo el criterio del técnico higienista industrial, tenga una alta probabilidad de superar los valores límite, esta evaluación más simple podría ser obviada.

Cuando la evaluación se realice mediante medición, “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, tanto de los distintos tejidos biológicos como de otros materiales, determinadas con arreglo a las buenas prácticas correspondientes”. Es decir, la medición puede llegar a tornarse muy compleja, razón por la que se permite con anterioridad métodos más simples siempre que sea posible.

La norma detalla a qué aspectos debe atenderse particularmente. A saber: los valores límite de exposición, tanto asociados a efectos para la salud como a efectos sensoriales, así como los niveles de acción; la frecuencia, el nivel, la duración, el tipo de exposición, y la distribución del campo electromagnético; los efectos biofísicos directos; los efectos sobre la salud y la seguridad de trabajadores especialmente sensibles, en particular trabajadores embarazadas y trabajadores con dispositivos médicos implantados; cualquier efecto indirecto; la existencia de equipos sustitutivos que reduzcan la exposición; la información obtenida por la vigilancia de la salud, la facilitada por el fabricante del equipo o cualquier otra pertinente; las fuentes de exposición múltiples o la exposición a campos de frecuencias múltiples de forma simultánea.

Por último, se prevé que la evaluación no será necesaria en lugares abiertos al público si en estos lugares ya se ha evaluado la exposición al público en general de acuerdo con su normativa de aplicación y se respetan las limitaciones especificadas en las mismas con respecto a los trabajadores, descartando los riesgos para la salud y la seguridad. Análogamente al tercer modelo de evaluación propuesta, se considerará que se cumplen los requisitos de la norma si se cumplen niveles de seguridad más estrictos de acuerdo con su normativa de seguridad en el producto de aplicación.

La metodología de evaluación propuesta por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

A pesar de no haber sido publicada aún la Guía técnica encomendada por el Real Decreto 299/2016, el Instituto sí ha publicado diversas Notas Técnicas de Prevención que, aunque no vinculantes, sí están relacionadas con los campos electromagnéticos y que,

junto con las guías de la Comisión Europa, seguramente supongan el punto de partida para la futura guía técnica. De entre las notas técnicas del Instituto a considerar, dos de ellas se dedican a caracterizar riesgos asociados a los campos electromagnéticos y exponer los límites de exposición, dos tratan específicamente de la imagen de resonancia magnética y uno versa específicamente sobre la evaluación.

Las notas técnicas de prevención números 598 y 698 tratan, respectivamente, de los riesgos por exposición a campos magnéticos estáticos y a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz. Ambas establecen los criterios de exposición, si bien la primera basa los límites referenciados en los propuestos por la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, mientras que la nota técnica de prevención 698 expone los valores límite y de actuación establecidos por la Directiva 2004/40/CE. En cualquier caso, y si bien la descripción sobre los riesgos y su caracterización es adecuada, deben considerarse desactualizadas pues son muy anteriores a la aparición de la actual normativa y no tienen en cuenta lo que esta establece.

Por otra parte, las notas técnicas de prevención 1063 y 1103 forman una unidad sobre la prevención ante equipos de imagen mediante resonancia magnética. Es de especial interés el segundo, pues trata de la aplicación del Real Decreto 299/2016 a los puestos expuestos a estos equipos en los términos establecidos en la excepción hecha por la norma a los mismos. Distingue para ello cinco condiciones en función de las obligaciones que conlleva la excepción que ya se han tratado al respecto de la Directiva: que la evaluación de riesgos demuestre que se superen los valores límite de exposición, que se hayan aplicado todas las medidas técnicas y organizativas pertinentes, que las circunstancias justifiquen la superación de aquellos valores, que se hayan tenido en cuenta las características, el equipo y las prácticas de trabajo y que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos, en particular asegurándose de que se siguen las instrucciones de uso seguro facilitadas por el fabricante. La nota incide especialmente en los aspectos que aseguran el cumplimiento de tales condiciones, en particular la primera; para ello, establece que no resulta necesario medir dentro de la sala de imagen por resonancia magnética salvo que el campo magnético generado por la máquina sea inferior a los 2 teslas, correspondientes al valor límite de exposición.

La NTP 894, a pesar de referirse también a la Directiva del 2004 sí trata concretamente de la evaluación de la exposición. La metodología de evaluación que propone es la establecida en la Norma UNE-EN 50499:2009. Lamentablemente, tanto la norma UNE-EN 50499:2009 como la NTP 894 hacen referencia a la Directiva del 2004 y, por lo tanto, no pueden ser plenamente aplicables a la nueva, habida cuenta de la aparición de nuevos niveles de acción. Sin embargo, puesto que a continuación se ahondará en la citada norma, se obvia la explicación somera de este método hecha por la nota técnica.

La metodología de evaluación de la Norma UNE-EN 50499:2009.

Como se ha adelantado, la norma UNE-EN 50499:2009 es previa a la normativa vigente y, por lo tanto, está orientada en su aplicación a la anterior Directiva. No obstante, puesto que las diferencias ya reseñadas entre ambas no modifican sustancialmente las circunstancias que deben considerarse en la evaluación, ni se especifica cómo esta debe llevarse a cabo, este método puede continuar aplicándose con escasas modificaciones.

Como enuncia la Directiva, la evaluación inicial propuesta es de extrema sencillez: la norma ofrece una tabla de equipos y lugares de trabajo conformes *a priori*. Si un puesto de trabajo está exclusivamente expuesto a los equipos incluidos en esta tabla, la exposición puede darse por inferior a los niveles de acción y basta recoger esta circunstancia en la evaluación de riesgos. No obstante, solo pondrán evaluarse de este modo equipos instalados y mantenidos de acuerdo con las instrucciones de sus fabricantes, y siempre cabe considerar las posibles variaciones de exposición cuando se realicen tareas de mantenimiento o fabricación del equipo frente a la exposición durante el uso habitual. Análogamente, la norma ofrece una lista no exhaustiva de equipos presentes en los lugares de trabajo que previsiblemente requerirán de una evaluación más exhaustiva. Estos equipos incluyen, entre otros, los de soldadura y fusión eléctricas, calentamiento por inducción y dieléctrico, los de magnetización o desmagnetización industrial, de diatermia, radares, transporte por tracción eléctrica y calentadores y secadores de microondas industriales. Ambas listas pueden consultarse en el Anexo II.

De cualquier modo, la norma establece que la evaluación de cualquier equipo o entorno de trabajo para el que exista una norma específica deberá realizarse de acuerdo con aquella. Tal es caso, por ejemplo, de la evaluación de la exposición en emplazamientos de radiodifusión o en el caso de equipos de imagen por resonancia magnética.

Si la evaluación simplificada no permitiese asegurar que la exposición no superase los valores límite de exposición deberá realizarse una evaluación de mayor calado, incorporando mediciones y comparando los resultados que determinen el nivel de exposición con los valores límite. Estas mediciones, tal como establece el real decreto, deben considerar los eventuales errores y, por ello, es preferible que se realicen conforme a metodologías establecidas, bien por normas UNE-EN básicas o genéricas o mediante datos derivados de la información proporcionada por el fabricante, aunque también se puede optar por otras metodologías, siempre que esta opción esté debidamente justificada.

La principal norma UNE-EN a considerar para la medición de la exposición es la UNE-EN 50413:2008. En consonancia con la forma en que se presentan los niveles límite y de acción, esta norma incluye las consideraciones sobre mediciones del campo eléctrico, el campo magnético o el campo electromagnético; de la corriente inducida en las extremidades; la corriente de contacto; la tasa de absorción específica de energía (SAR) o la medida de la temperatura. En general, una correcta medición del campo electromagnético debe consistir en una medida del campo sin perturbaciones, como la presencia de una persona, y el rango de frecuencia en que se ubica, que la norma establece en dos, desde los 0 Hz a los 100 kHz y desde estos hasta los 300 GHz. Con carácter previo a la elección del método de medición, deben considerarse: el tipo de fuente del campo y sus características, los instrumentos de medida a utilizar y sus características, los criterios de evaluación, que habitualmente serán los límites establecidos por las normas legales, y la incertidumbre de las mediciones.

En cuanto a la ejecución de las mediciones, debe considerarse previamente, además de lo establecido ya con anterioridad, las posibles influencias relevantes del entorno en el campo electromagnético, la localización de los trabajadores expuestos y las áreas accesibles, el tiempo de exposición cuando se trabaje ante altas frecuencias, la

realización de una evaluación preliminar estimativa para prevenir la sobreexposición de la persona que realice la medición, elegir el tipo de medida en banda ancha o estrecha, comprobar las adecuadas condiciones de operación de los equipos de medición. Estos equipos deberán elegidos teniendo en cuenta el tipo de campo electromagnético, su rango de frecuencias, el tiempo de medida y la polaridad de la fuente que lo genere. Se prevé, además, la posibilidad de utilizar modelos de cuerpos humanos bajo determinadas circunstancias para realizar las mediciones. En cualquier caso, puesto que las condiciones de medición son complejas, existen normas y referencias más específicas para llevar a cabo cada tipo de medición.

Si siguiendo cualquiera de los métodos de medición se obtuviese un nivel de exposición inferior a los niveles de acción, la evaluación podría darse por terminada con un nivel de exposición conforme a los límites. Si se superasen, debe verificarse que la exposición no supera los valores límite. La metodología para ello deberá ser, preferiblemente, la misma a la empleada con anterioridad para la comparación frente a los niveles de acción.

En caso de que la evaluación revele que se superan los niveles de acción, tal y como establece el real decreto, deberán adoptarse medidas inmediatas para reducir la exposición. Deberán examinarse las causas que hubiesen llevado a tal situación, modificando, en consecuencia, las medidas de protección y prevención. Además, deberá informarse a los representantes de los trabajadores de las causas que han ocasionado la sobreexposición.

De no superarse los valores límite de exposición, pero sí los niveles de acción, deberá elaborarse y aplicarse un plan de acción que incluya medidas técnicas y de organización destinadas a evitar que la exposición llegue a superar los valores límite de exposición.

Tales medidas pueden incluir la adopción de métodos de trabajo que conlleven una exposición menor a campos electromagnéticos; la elección de equipos que generen campos electromagnéticos menos intensos, teniendo en cuenta el trabajo al que se destinan; las medidas técnicas para reducir la emisión y exposición incluyendo, cuando

sea necesario, el uso de sistemas de bloqueo, blindajes o mecanismos similares de protección de la salud; programas adecuados de mantenimiento de los equipos de trabajo y de los lugares y los puestos de trabajo; el diseño y la disposición de los lugares y puestos de trabajo; la limitación de la duración e intensidad de la exposición y la disponibilidad de equipos adecuados de protección individual. A esta enumeración de la norma UNE-EN 50499 cabe añadir las consideradas adicionalmente por el real decreto: medidas adecuadas de delimitación y acceso, como señales, etiquetas, marcas en el suelo o barreras para limitar o controlar el acceso y, en caso de exposición a campos eléctricos, medidas y procedimientos para controlar las corrientes de contacto y las descargas en forma de chispa, mediante métodos técnicos y formación de los trabajadores.

Las metodologías de evaluación propuestas por la Comisión Europea en su Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE.

La Directiva 2013/35/UE, en su artículo 14, requiere a la Comisión Europea que proporcione, en un plazo de 6 meses desde el 1 de julio de 2016, unas guías prácticas no vinculantes que ayuden al cumplimiento de la Directiva que se refieran 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;
- directrices sobre la demostración del cumplimiento en tipos especiales de exposición no uniforme en situaciones específicas, sobre la base de una dosimetría bien establecida;
- 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;

- la realización de evaluaciones de riesgos y, cuando sea posible, la provisión de técnicas simplificadas teniendo en cuenta, en particular, las necesidades de las pequeñas y medianas empresas;
- 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;
- 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 imágenes de resonancia magnética;
- 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 y las directrices sobre los exámenes médicos;
- y la vigilancia de la salud que debe proporcionar el empresario.

Es de interés, al respecto, el contenido de las guías sobre la realización de evaluaciones de riesgos, y las diversas metodologías que estas guías proponen de forma práctica. En particular, estas pueden agruparse en tres: A partir de los requisitos relativos a las evaluaciones sobre CEM específicas con respecto a actividades, equipos y lugares de trabajo comunes; a partir de información proporcionada por el fabricante; y a partir de la comparación de mediciones con los niveles de referencia.

A partir de los requisitos relativos a las evaluaciones sobre CEM específicas con respecto a actividades, equipos y lugares de trabajo comunes.

Al igual que la norma UNE, las guías de la Directiva proponen un listado de lugares y equipos de trabajo cuya evaluación no será necesaria por considerarse altamente improbable que tales situaciones generen campos de 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. Debe tenerse en cuenta que, para considerar el equipo incluido en los definidos de esta manera, debe mantenerse adecuadamente y ser utilizado con arreglo a las indicaciones del fabricante. En caso de

que el trabajo entrañe el uso de equipos viejos, no normalizados y deficientemente mantenidos, no deben considerarse incluidos en este listado. Este listado, a diferencia de los anteriores, tiene en consideración además a trabajadores especialmente sensibles en general y a los trabajadores con implantes activos, de modo que habrá algunos equipos cuya evaluación deberá ser más cuidadosa si no se indican como seguros para el segundo o tercer grupo. Debido a su extensión, esta tabla se ha recogido en el Anexo III.

Cuando de la comparación de los equipos y lugares de exposición del puesto de trabajo evaluado con los de la lista proporcionada con la Comisión Europea se compruebe la necesidad de una evaluación de mayor detalle, deberá optarse por alguno de los métodos siguientes.

A partir de información proporcionada por el fabricante o distribuidor.

El fabricante o distribuidor puede proporcionar información sobre la exposición a campos electromagnéticos. Además, otras instituciones, organismos y asociaciones pueden desarrollar o disponer de datos sobre evaluaciones genéricas adecuadas a los equipos con que se opere en el lugar de trabajo. Este método tampoco requiere de medición y es igualmente simple con objeto de demostrar el cumplimiento de los valores límite de exposición.

En general, los fabricantes, en cumplimiento de la normativa relativa a las máquinas, tienen la obligación de proporcionar información sobre los riesgos que sus productos puedan generar, así como de las pertinentes medidas de protección que los usuarios deban adoptar. En principio, el fabricante de un equipo que genere campos electromagnéticos que pueda considerarse nocivos deberá aportar información sobre este riesgo, en particular para aquellos trabajadores que operen el equipo.

Conviene recalcar, no obstante, que es importante tener en cuenta que la exposición total del trabajador puede deberse a diversas fuentes, y no exclusivamente a aquella asociada a un componente concreto de los equipos, por lo que se deben tener en cuenta todas las fuentes de campos electromagnéticos presentes en el lugar de trabajo; a pesar todo ello de que el fabricante de cada componente aporte información exclusivamente de la exposición a la que dé lugar su producto. Otro aspecto a tener en

cuenta es la distancia a la que opere el trabajador con respecto a cada fuente de campos electromagnéticos ya que, con toda probabilidad, la exposición estará especialmente influenciada por aquellas en sus inmediaciones; a este respecto, no deben olvidarse las fuentes parte de instalaciones auxiliares, como los cables de suministro eléctrico. Así pues, la información aportada por el fabricante debe considerarse dentro de un análisis profundo de las características de la exposición en el puesto de trabajo evaluado.

Por otra parte, no toda la información aportada por el fabricante con respecto de los campos electromagnéticos generados por un determinado componente o producto resultará de interés a la hora de evaluar la exposición. Algunas informaciones, por ejemplo, se facilitan en cumplimiento de requisitos esenciales del producto con respecto a la compatibilidad electromagnética, por ejemplo, por cuestiones como la reducción de interferencias; otras se centrarán en cuestiones sobre la emisión de radiación no ionizante. Idealmente, la información de mayor utilidad será una evaluación de la exposición típica de un trabajador que opere el equipo, indicando el grado en que disminuye el campo con la distancia.

A partir de la comparación de mediciones con los niveles de referencia.

Vale la pena volver a incidir en que la obligación de evaluar establecida en el real decreto no implica, necesariamente, la obligación del cálculo o la medición, y que explorar las opciones de evaluación previas puede suponer un gran ahorro de esfuerzos y recursos.

Si, finalmente, no ha sido posible establecer la no superación de los valores límite de exposición por métodos más sencillos, será necesaria la evaluación por medio del cálculo o medición de la exposición. Este tipo de evaluación es más especializado, requiere de conocimientos técnicos y, probablemente, de profesionales cuyo coste puede justificar la adopción de medidas de protección o prevención sencillas sin necesidad de medir, teniendo en cuenta que este sería el resultado más desfavorable de la evaluación. Muy probablemente, la restricción del acceso al entorno de las fuentes sea una de las medidas más baratas y eficaces para reducir la exposición, ya que la intensidad disminuye rápidamente con la distancia.

La primera cuestión que debe tenerse en cuenta cuando se vaya a realizar el cálculo o medición de un puesto de trabajo es, precisamente, centrar el foco en el puesto de trabajo. No debe realizarse una evaluación genérica de los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo, sino una concreta y específica de cada puesto de trabajo expuesto a este riesgo, determinando las ubicaciones de los trabajadores, su orientación con respecto al campo y el tiempo de exposición cuando se elaboren promedios temporales, además de cuantas otras cuestiones adicionales tengan influencia en la exposición. Aclarado este extremo, la siguiente decisión será optar por el cálculo o la medición; ambos métodos son válidos y la opción deberá fundarse en función de la información de partida, las características del puesto, de la exposición, de la cantidad de fuentes, etc. Los métodos más sencillos habitualmente conllevan aproximaciones donde debe optarse por la opción más conservadora, sobreestimando la exposición. Si de cualquier modo no se superasen los valores límite esto puede suponer una garantía adicional de seguridad, pero en caso de superarlos es posible que sea preferible realizar mediciones o cálculos de mayor concreción y complejidad.

La guía elaborada por la Comisión Europea considera algunas situaciones especialmente complejas en las que optar por este método puede ser inevitable. Estas situaciones son: exposiciones no uniformes, exposiciones a campos de frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 10 MHz, exposición simultánea a componentes de frecuencias múltiples, exposición a campos no sinusoidales y la evaluación de campos con frecuencias de entre 0 y 1 Hz.

La guía, no obstante, no incorpora protocolos de medición detallados, encargando a las agencias de normalización su desarrollo. Sí establece, no obstante, los principios generales que deben guiarlas en tres fases.

La primera fase consistirá, habitualmente, de una medición exploratoria o preliminar, que será útil especialmente para definir el equipo necesario. Así, los instrumentos de banda ancha sencillos serán muy prácticos cuando se trabajen con ondas electromagnéticas sinusoidales simples a frecuencias concretas, pero se requerirán técnicas espectrales sofisticadas para las mediciones de formas de onda complejas. En esta fase se determinarán también el tamaño de la sonda y la ubicación y la cantidad de

las mediciones necesarios, optando siempre por las situaciones más desfavorables que eleven la garantía de seguridad de la medición. Adicionalmente, es importante durante esta fase temprana determinar la distribución del campo electromagnético en el lugar de trabajo en relación con la posición del trabajador. En campos cercanos, será necesario ajustar el tamaño de la sonda, ya que una demasiado grande podría dar lugar a lecturas incorrectas. Por último, resultarán más sencillas evaluaciones de múltiples campos electromagnéticos cuando varíen en las mismas frecuencias, mientras que fuentes de ondas compuestas en diferentes frecuencias requerirán de instrumentos más sofisticados; también debe atenderse a los ciclos de servicio de las fuentes y a la evolución de los campos electromagnéticos durante los mismos.

Durante la segunda fase, principal, se debe establecer el programa de medición determinando su ubicación, momento y duración; para elaborarlo, se habrá debido tener en consideración el puesto de trabajo a evaluar: posiciones de trabajo, extremidades más expuestas, actividades que se lleven a cabo, incluyendo el funcionamiento normal, la limpieza, mantenimiento, revisión y reparación si se llevan a cabo en el puesto. Debe procurarse, como se planteó anteriormente, la seguridad de la exposición de quien efectúe las mediciones. Para ello, pueden comenzarse desde puntos relativamente alejados a las fuentes. Frente a campos magnéticos estáticos deberán tomarse mayores preocupaciones para evitar los riesgos por proyecciones, y las corrientes de contacto frente a campos eléctricos intensos, considerando ambas en la evaluación de riesgos del puesto encargado de la medición.

Finalmente, se llevará a cabo la evaluación de aquellos puestos en los que se hubiesen requerido mediciones o cálculos por comparación de los datos obtenidos con los niveles de actuación. Si estos no se superan, el riesgo podrá darse por controlado. Si se superan los niveles de acción, debe comprobarse la no superación de los valores límite de exposición, que exigiría medidas inmediatas, y adoptar en tal caso las medidas técnicas y organizativas requeridas por la normativa.

Un caso especial de este tipo de evaluación es el empleo de simulaciones numéricas de exposición. Mediante estas simulaciones, a partir de mediciones del campo electromagnético en ausencia del cuerpo, se calculan magnitudes dosimétricas dentro del

mismo. En el caso más sencillo de este tipo de evaluación se emplean estructuras geométricas sencillas con un valor único de conductividad y permitividad que represente los valores medios del cuerpo humano o del tejido a evaluar. Sin embargo, los requerimientos de la evaluación pueden ser más elevados, habitualmente cuanto más cercana sea la exposición a los valores límite y mayor precisión se requiera en la evaluación, ya que en el caso anterior se la exposición se sobreestima considerablemente. Por ello, los modelos numéricos pueden ser más complejos, siendo recomendados por la guía de la Comisión Europa los modelos heterogéneos y anatómicamente realistas. Estos suelen desarrollarse por segmentación informatizada de los datos de conductividad y permitividad en véxoles, celdas cúbicas de entre 1 y 2 mm, de cada órgano o tejido. Los principales métodos utilizados en esta escala de complejidad son 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).

En cuanto a la evaluación por medición de campos de frecuencias bajas, los métodos más simples y extendidos son el de norma de frecuencias múltiples y la ponderación de picos. El primero tiene a ser más conservador y sencillo, y consiste en la suma de los índices de exposición a cada frecuencia para el campo eléctrico, el campo magnético y la corriente inducida. El método de ponderación de picos es, no obstante, el método recomendado por la Directiva. Este método consiste en la ponderación del campo electromagnético por medio de los niveles de acción dependientes de la frecuencia, de modo que el pico de amplitud de la forma de la onda ponderada da el índice de exposición.

Ejemplos de evaluación de la exposición y medidas preventivas frente al riesgo de exposición a campos electromagnéticos.

La prevención de riesgos laborales, en su vertiente operativa, debe ser una herramienta eminentemente práctica. La presentación teórica de los campos electromagnéticos y de sus métodos de evaluación es necesaria, pero insuficiente para familiarizarse con la profundidad que cualquier higienista industrial requiere a la hora de lidiar con este riesgo. Por ello, se presentan a continuación tres casos de puestos de trabajo que típicamente están expuestos a campos electromagnéticos de diversa magnitud,

realizando la pertinente evaluación de riesgos para cada uno de ellos, como ejemplo de los varios métodos presentados.

Ejemplo de aplicación en el puesto de soldadura.

Las estaciones de soldadura por resistencia son ampliamente utilizadas en multitud de industrias que requieren del trabajo con metales. En este primer puesto se va a considerar, ficticiamente, que el fabricante del producto ha incluido información sobre la exposición a campos electromagnéticos, además, referenciada a los niveles de exposición determinados normativamente, como recomienda la Comisión Europea. Este es, por supuesto, el caso ideal; no obstante, cabe esperar que las normas armonizadas sobre productos tiendan a incluir este tipo de información entre aquella que debe proporcionar el fabricante.

La empresa para la que se evalúa en este caso es un taller de fabricación metálica que, para poder adaptarse a las demandas de sus clientes, ha adquirido un equipo nuevo de soldadura por puntos portátil, más versátil que los equipos de soldadura oxiacetilénica que utilizaban hasta ahora, y cuya operación puede corresponder a cualquiera de los soldadores en plantilla de la empresa. Al ser un equipo nuevo, el fabricante proporciona en el manual de usuario información sobre los riesgos generados por el mismo.

Descripción del puesto y de la exposición.

En el puesto de soldador a evaluar los trabajadores operan un equipo de soldadura por puntos portátil suspendido, que se muestra en la figura 1.1. Este soldador está compuesto por dos brazos en pinza que aprisionan dos electrodos cilíndricos, aplicando una corriente de intensidad elevada sobre el componente a soldar. El calor requerido para la soldadura es aportado por la resistencia eléctrica de los mismos componentes. Este equipo trabaja a 7000 A y utiliza una alimentación eléctrica de 2 kHz.

Puesto que la máquina que se utiliza en el puesto es portátil, los trabajadores que la operan deben permanecer de pie sosteniéndola en suspensión sobre el material a soldar, que permanece en posición fija. El operario sostiene el soldador de puntos en su posición durante la operación de soldadura. Puesto que los brazos de los electrodos son

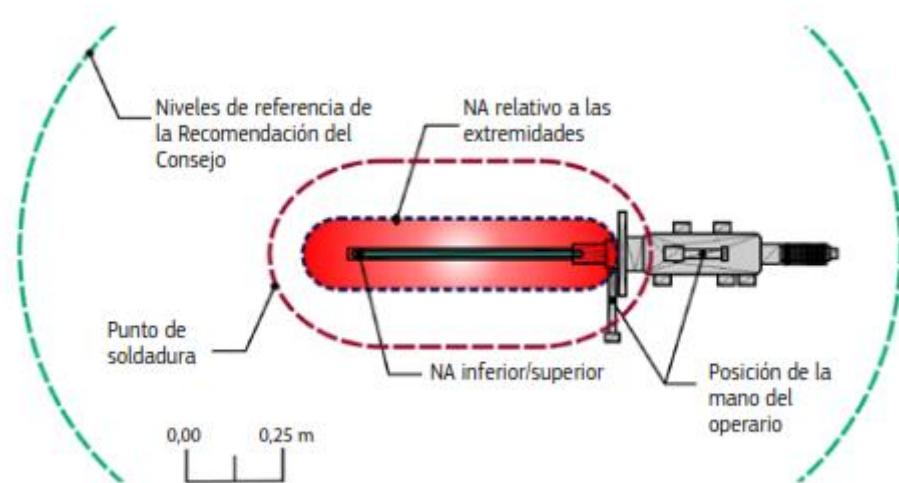
relativamente largos, de 75 cm, los trabajadores que operan el equipo deben permanecer a una distancia de en torno a 1 m de las puntas de los electrodos.

Figura 1. Equipo de soldadura por puntos portátil.



En este caso, el fabricante del equipo proporcionó incluido en el manual del equipo una evaluación de los riesgos de este, con referencia al riesgo por exposición a campos electromagnéticos. Tal y como recomienda la guía de la Comisión Europea, esta evaluación específica que el equipo puede suponer un riesgo para trabajadores que lleven marcapasos y para trabajadoras embarazadas y el nivel de riesgo se representa mediante un esquema en el que se indica la distancia relativa en la que la exposición alcanza los valores de los niveles de acción y los niveles de referencia establecidos por la Recomendación del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz).

Figura 2. Esquema de exposición a campos electromagnéticos del equipo.



Evaluación y resultados.

Basándonos en los datos proporcionados por el fabricante, y teniendo en cuenta que la posición habitual de los operarios para manejar de la máquina se puede concluir que ninguna extremidad entra en la zona de niveles de acción. Sin embargo, posiciones de sujeción del mango lateral pueden ubicarse cerca de la zona del nivel máximo admisible para extremidades.

El riesgo en este caso puede evaluarse de forma sencilla mediante una tabla típica de evaluación de probabilidad y consecuencias, como la que se presenta a continuación.

Tabla 1. Evaluación simplificada de riesgos.

Grado del riesgo		Consecuencias		
		Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Probabilidad	Baja	Trivial	Tolerable	Moderado
	Media	Tolerable	Moderado	Importante
	Alta	Moderado	Importante	Intolerable

En el caso del riesgo que consideramos, la probabilidad de que la mano del trabajador que opera el equipo ingrese en la zona en que se superan los niveles de acción inferiores para extremidades es baja. Además, en caso de que ingresase, en este rango de frecuencias el riesgo supone que puedan generarse molestias leves que remiten tempranamente, por lo que las consecuencias serían ligeramente dañinas. Así pues, el puesto de operario del equipo de soldadura por puntos portátil es trivial.

No obstante, deben considerarse trabajadores expuestos a este riesgo todos aquellos que se sitúen en el entorno de un metro desde los brazos de los electrodos, que se corresponde, aproximadamente, con el nivel señalado como referencia en la Recomendación del Consejo.

Además, tal y como indica el manual del equipo, el riesgo para trabajadores con implantes médicos activos, como marcapasos, puede ser de moderado a importante.

Medidas preventivas.

Debe informarse a los trabajadores y a sus representantes de los resultados de esta evaluación. Deberá proveerse para los trabajadores expuestos, además, la formación preventiva suficiente y adecuada, en particular, con relación a las demás medidas enunciadas a continuación. También deberán ser informados del procedimiento para que informen, bien a la vigilancia de la salud, bien al responsable de prevención de riesgos laborales, de aquellas molestias o lesiones que pudieran deberse a la exposición al campo electromagnético.

El equipo debe ser señalizado como fuente de campos electromagnéticos. El responsable de prevención de la empresa elegirá, adquirirá y se encargará de que la señal sea incorporada de forma visible y permanente sobre el equipo. Esta señal puede ser, por ejemplo, similar a la presentada en la figura 3.

Figura 3. Señal de advertencia de exposición a campos magnéticos intensos.



Cuando el equipo vaya a ser utilizado, el operario deberá delimitar un área en torno al lugar de trabajo a una distancia de 1,5 m del equipo, que se corresponda con el área delimitada por los niveles de referencia de la Recomendación del Consejo, de acuerdo con el manual de instrucciones. En cualquier caso, cuando no se pueda medir con exactitud su tamaño, el área deberá cubrirse por exceso. Esta zona se demarcará mediante una cinta amarilla y negra sobre postes portátiles.

Al menos uno de los postes anteriores deberá incluir una señal de peligro por exposición a campos electromagnéticos. Esta señal deberá ser elegida y adquirida por el responsable de prevención de la empresa, y puede tener la forma de la figura 3.

Debe informarse en particular de la prohibición a los trabajadores con implantes médicos activos y embarazadas de acceder a las zonas delimitadas. Esta información deberá ser dada a todos los trabajadores, recalmando su importancia, puesto que ambas condiciones son privadas y no tienen por qué ser conocidas por el responsable de prevención. Adicionalmente, deberá señalizarse sobre los postes de demarcación este riesgo específico, por ejemplo, mediante la señal de la figura 4.

Figura 4. Señal de acceso prohibido a personas con implantes médicos (marcapasos).



Ejemplo de aplicación en el puesto de guardia de seguridad.

Una gran empresa de seguridad privada que presta servicio a una gran cartera de clientes en multitud de lugares de trabajo cuenta, entre sus empleados, con algunos de edad avanzada. En los últimos meses, uno de ellos ha estado de baja, pero, tras el apto para el trabajo recibido en el reconocimiento médico, el responsable de prevención de riesgos laborales realiza una nueva evaluación de su puesto para prever nuevos riesgos.

El trabajador ha decidido comunicarle que le ha sido implantado un marcapasos y que le preocupa que los equipos de seguridad que tiene que utilizar habitualmente, como el *walkie-talkie*, el detector de metales o los equipos audiovisuales puedan provocar interferencias con el dispositivo médico.

Descripción del puesto y de la exposición.

En la actualidad, el trabajador prestaba servicio como vigilante en el servicio de seguridad de unos juzgados. En este puesto, en el que están destinados tres vigilantes, deben permanecer alerta, especialmente, para evitar el ingreso de armas, razón por la que todas las personas que acceden al edificio deben pasar por detectores de metales. Dos de ellos se disponen a cada lado de los detectores de metales. Además, deben permanecer

pendientes a las pantallas de tres cámaras conectadas por cable que les permiten vigilar las inmediaciones para prever cualquier situación de riesgo, siendo este puesto ocupado por el tercero. Al menos una vez cada hora, alguno de los guardias debe dar una vuelta rutinaria por el edificio. Durante esta actividad, permanece en contacto con otro de sus compañeros mediante *walkie-talkie*, habitualmente aquel que ocupe el lugar frente a las pantallas. Los tres alternan libremente para la realización de estas actividades.

El responsable de prevención desconoce la intensidad del campo magnético que puede producir el detector de metales. Además, el vigilante debe permanecer inmediatamente junto a este equipo por lo menos durante parte de su jornada, por lo que será probable que esté sometido a algún nivel de riesgo.

Discusión del método de evaluación.

El responsable de prevención no conoce particularmente todos los lugares de trabajo en los que su empresa presta servicio, además, sería costoso y complicado realizar mediciones en el puesto actual del trabajador, con el consiguiente perjuicio que puede provocar sobre un cliente de la empresa. Tampoco conoce el particular el equipo utilizado como detector de metales, aunque comprueba que cuenta con marcado CE.

Tras una breve búsqueda, encuentra la norma UNE y cree conveniente probar la evaluación simplificada que propone, cuyo listado de equipos conformes puede consultarse en el anexo II. Esta norma considera que el equipo es genéricamente seguro si tiene marcado CE y, además, también es abierto al público, por lo que deberá cumplir con la Recomendación del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). En principio, parece que el trabajador podría reincorporarse a su puesto.

No obstante, al encargado de prevención le preocupa especialmente el hecho de que el trabajador ahora cuente con un implante médico susceptible de sufrir interferencias debido al campo magnético. Tras buscar sobre esta cuestión, encuentra la tabla de la guía de la Comisión Europea que se incluye en el anexo III, que especifica si determinados equipos pueden suponer un riesgo para trabajadores con esta condición.

Evaluación y resultados.

El método simplificado propuesto por la guía de la Comisión Europea especifica qué equipos requieren de una evaluación más detallada. Es decir, aquellos que pueden entrañar algún nivel de riesgo para un trabajador sensible con implantes activos. De los equipos a los que este trabajador está expuesto, cumplen tal condición el *walkie-talkie* y el detector de metales, mientras que las pantallas de control de las cámaras son, en principio, seguras.

No obstante, dos de los equipos a los que el trabajador está expuesto durante toda la jornada de trabajo pueden entrañar algún riesgo. Además, la evaluación en mayor profundidad puede ser muy compleja y cara, y las consecuencias del riesgo pueden llegar a ser mortales para el trabajador. Por este motivo, considerando la evaluación simplificada expuesta en la tabla 1, el responsable de prevención determina que las consecuencias serían extremadamente dañinas y, puesto que debe garantizar la protección del trabajador, aunque sobreestime el riesgo, considera que la probabilidad del riesgo es alta. La evaluación concluye que el nivel del riesgo es intolerable, y se propone adoptar medidas que extingan este riesgo con carácter inmediato. Para el resto de trabajadores, el resultado de la evaluación fue trivial.

Medidas preventivas.

Tal y como recoge la normativa básica de prevención de riesgos laborales, a saber, la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención, siempre que sea posible, debe evitarse la exposición a cualquier riesgo. A pesar de que sería posible evaluar la exposición del trabajador en su actual puesto, el método es costoso y, además, solo permitiría conocer si el nivel de exposición del trabajador puede ser admisible. Si finalmente no lo fuese, el trabajador requeriría de la adaptación de su puesto actual para evitar el uso de equipos que son indispensables en el lugar de trabajo. Además, la empresa presta servicios en muchos lugares distintos. Por este motivo, el responsable de prevención decide que la medida preventiva más eficaz es ofrecer al trabajador un cambio de destino a un puesto donde no esté expuesto a riesgos por exposición a campos electromagnéticos.

Para ello, elabora un listado de los equipos de trabajo que pueden entrañar riesgos y que no pueden existir en el lugar de trabajo al que finalmente se destine al trabajador. Esta lista finalmente incluye: la utilización de teléfonos inalámbricos, teléfono móvil, dispositivos de comunicación inalámbrica, equipos audiovisuales con transmisores de radiofrecuencia, detectores de metales, sistemas antirrobo de vigilancia de artículos y RFID (identificación por radiofrecuencia), y áreas en torno a antenas de telecomunicaciones o grandes instalaciones eléctricas.

En coordinación con el departamento de recursos humanos, y de entre todos los clientes y puestos susceptibles, el encargado de prevención elabora un listado de puestos en los que es posible reubicar al trabajador sin exposición al riesgo.

Adicionalmente, se decidió incorporar la formación sobre este riesgo a la formación preventiva de todos los trabajadores, informándoles de que este riesgo solo adquiere importancia si llevan implantes activos. Por ello, se adoptó un protocolo de información de esta circunstancia que fue comunicado a toda la plantilla. Además, la exploración a este riesgo en particular se ha incluido en la vigilancia de la salud.

Ejemplo de aplicación en el puesto de operador de radiofaro.

El radiofaro es un elemento que emite señales de radio de forma continua y automática de ayuda a la navegación. En el caso de este ejemplo, se tratará de un radiofaro aeroportuario. El aeropuerto ha decidido actualizar el sistema anterior de radiofaro de baliza no direccional por un radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia, hecho que motiva una nueva evaluación de riesgos y la modificación de los perímetros de seguridad. Este nuevo radiofaro instalado opera a una señal de muy alta frecuencia de 117,9 MHz, susceptible de provocar efectos térmicos. Debido a la disposición del aeropuerto, este nuevo radiofaro ha debido ser instalado a 12 metros de distancia de la torre de control.

Descripción del puesto y de la exposición.

Los técnicos de tránsito aéreo del aeropuerto no suelen tener que acceder hasta el radiofaro, siendo su lugar de trabajo habitual la torre de control. No obstante,

ocasionalmente deben llevarse a cabo trabajos en la antena o su proximidad, y han expresado su preocupación por la cercanía del radar.

Discusión del método de evaluación.

Por tratarse de un equipo nuevo y sin contar con información suficiente del fabricante, el servicio de prevención del aeropuerto toma la resolución de realizar la evaluación mediante la medición de los valores necesarios para su comparación con los valores límite y de acción. Se contrata para ello a un servicio especialista que realizará las mediciones y entregará al servicio los resultados obtenidos para su evaluación con respecto a los valores límite de exposición. Si estos no se superan, se evaluará con respecto a los niveles de acción. Por último, se utilizará como referencia la Recomendación del Consejo sobre exposición del público para considerar a los trabajadores expuestos al riesgo.

Evaluación y resultados.

Obtenidas las mediciones, se determina lo siguiente:

- El valor límite de exposición se supera en un radio de 0,3 m en torno a la antena.
- El valor superior de acción se supera en un radio de 4,3 m en torno a la antena.
- El valor inferior de acción se supera en un radio de 7,0 m en torno a la antena.
- El nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE se supera en un radio de 15,7 m en torno a la antena.

Evidentemente, la exposición por encima del valor límite se considerará intolerable, y se adoptarán medidas para evitarla, en cualquier caso. La exposición al valor superior de acción se evalúa como importante debido a su alta probabilidad y consecuencias moderadamente dañinas. La exposición al valor inferior de acción se ha evaluado como tolerable, por sus consecuencias ligeramente dañinas pero moderada probabilidad de daño. En el resto del espacio hasta situarse por debajo del nivel de referencia, la exposición se evalúa como trivial.

Medidas preventivas.

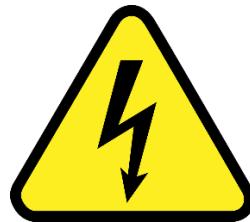
El área en que se supere el valor inferior de acción será cerrada por un vallado metálico fijo, con un margen de seguridad de al menos 50 cm adicionales a los 7,0 m.

Solo existirá una puerta de acceso al recinto, cerrada con llave. Sobre este vallado, junto a la puerta de acceso, se ubicarán las siguientes señales: peligro por exposición a radiación no ionizante, riesgo eléctrico y prohibido el acceso a personas con implantes médicos activos. La última señal se mostraba ya en la figura 4. Las otras dos pueden verse en las figuras 5 y 6, respectivamente.

Figura 5. Señal de peligro por exposición a radiación no ionizante.



Figura 6. Señal genérica de riesgo de origen eléctrico.



El área en la que se supere el nivel superior de acción se encontrará delimitada mediante franjas amarillas y negras pintadas sobre el suelo. No se estima que se requiera mayor impedimento de acceso, ya que existe el perímetro exterior.

Se elaborará un procedimiento de trabajo que requiera la desconexión de la red de suministro eléctrico y enclavamiento de esta de la antena cuando sea necesario acceder dentro del área que supera los niveles de acción superior.

La escalera de acceso a la antena contará asimismo con una cancela cuya apertura cortará la corriente, cesando la emisión de radiación, si esta no se hubiese desconectado con anterioridad.

Los trabajadores serán informados y formados con respecto al riesgo por exposición a campos electromagnéticos. En particular, aquellos dentro del área que supera la Recomendación del Consejo serán informados de aquellos efectos que esta

exposición podría ocasionar con motivo de informar sobre ellos para realizar la vigilancia de la salud si fuese necesario. Se ha valorado, y se reserva como medida a adoptar en caso de que esta situación llegase a producirse, el cegado del sector que ocupa la torre de control, programando la reducción de la intensidad de la señal de la antena cada vez que se dirigiese hacia la torre.

Ningún trabajador especialmente sensible podrá trabajar en este rango, informando a los trabajadores del riesgo que supone y de la necesidad de que comuniquen a la empresa si adquieren alguna condición que supongo mayor riesgo por esta exposición, en particular, si llevasen implantes médicos.

CONCLUSIONES

Los campos electromagnéticos son un fenómeno físico cuya descripción matemática es compleja, afectando mediante mecanismos diversos a los trabajadores expuestos a los mismos en función de su fuente, distancia y posición relativa a la misma, intensidad y frecuencia. Muchos de los efectos, especialmente los sensoriales, dependerán, además, de la susceptibilidad del trabajador y su tolerancia a la molestia que pueden suponer. Otros, como los efectos térmicos, pueden verse agravados o pasar inadvertidos por el entorno de trabajo, por ejemplo, por las condiciones ambientales. Sin embargo, pueden suponer un serio peligro, en particular, para trabajadores especialmente sensibles debido a que porten implantes médicos susceptibles de sufrir interferencias. Los riesgos indirectos, como la proyección de materiales ferromagnéticos ante un campo magnético intenso, tampoco deben ser obviados.

Sin embargo, en España la regulación sobre este riesgo es muy reciente, y aún en la Unión Europea. Los métodos de evaluación del riesgo y medición de campos electromagnéticos todavía no han sido establecidos o actualizados mediante normas técnicas acordes a la nueva normativa. El escenario es, pues, que el riesgo laboral por exposición a campos electromagnéticos es un riesgo que todavía no comienza a ser considerado globalmente presente en cualquier lugar de trabajo. Las consecuencias de este riesgo no son graves, excepto para trabajadores sensibles que, por su condición, habitualmente estarán alerta de evitarlo.

En este sentido, la regulación actual avanza la posibilidad de realizar evaluaciones simplificadas, como la expuesta en el ejemplo del puesto de guardia de seguridad. Este tipo de evaluación, especialmente mediante el listado de equipos de trabajo seguros de la guía de la Comisión Europea, es muy fácil de llevar a cabo y no exige, del higienista industrial, un gran conocimiento del fenómeno físico ni costosas y complicadas mediciones y cálculos. En particular, y hasta que sea actualizada, esta tabla es muy preferible a la de la Norma UNE-EN 50499:2009 por su mayor extensión y su desglose entre trabajadores, trabajadores especialmente sensibles con implantes médicos y otros trabajadores sensibles.

En primer ejemplo, de evaluación de en el puesto de soldadura, se ha presentado un fabricante de equipos de comportamiento ejemplar. Lo cierto es que, en la actualidad, la generación de campos electromagnéticos no es informada de forma general en los manuales de usuario de los equipos de trabajo habituales. Son la excepción equipos que generan campos especialmente intensos, como los de imagen por resonancia magnética. Es deseable, y en las guías prácticas de la Comisión Europea se recomienda, que las normas armonizadas sobre productos comiencen a considerar la posibilidad de que los fabricantes informen de este riesgo. Como se ha podido demostrar con el ejemplo, esta forma de presentar la información, de nuevo, es de gran utilidad para el trabajo de los técnicos de prevención de riesgos laborales. No obstante, esta información dejará de ser de utilidad cuando se trabaje con múltiples equipos simultáneamente.

Es en casos como el del radiofaro cuando, con toda probabilidad, se hace necesario un método de evaluación por medición y cálculo, comparando los valores medidos o calculados con los valores límite. En el ejemplo, este paso es contratado a un servicio externo, y es muy probable que en cualquier tipo de organización preventiva propia de una empresa este paso deba realizarse del mismo modo. Los equipos de medición son costosos, la realización de un programa de medición requiere de un gran conocimiento técnico del comportamiento de los campos electromagnéticos, así como la operación de los equipos y la interpretación de los resultados obtenidos. Es por eso que esta información es convertida a área de diferencia magnitud de riesgo para los encargados de prevención del operador aeroportuario.

En definitiva, el riesgo por exposición a campos electromagnéticos recibe una atención incipiente, y su comprensión y valoración cuando debe acudirse a su medición y cálculo todavía es demasiado técnica, en comparación con otros riesgos físicos como el ruido o las vibraciones. Debe tenerse en consideración que, aunque pudiera ser deseable, hoy en día un higienista industrial no tiene por qué contar con mayor formación científica que la adquirida en su formación en prevención de riesgos laborales. Es necesario, pues, que se ahone, mediante normas técnica, en la creación de métodos de evaluación más sencillos cuando sea necesario llevar a cabo mediciones. En particular, en el desarrollo de este trabajo, se ha encontrado confuso que los límites de exposición y los niveles de

acción no sean medidos en las mismas magnitudes cuando se están evaluando los mismos efectos.

A fecha de finalización de este trabajo no se ha publicado la guía técnica que el Real Decreto 299/2016 encarga al Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Es de prever que esta guía siga los métodos de evaluación ya propuestos por las guías prácticas de aplicación de la Directiva 2013/35/UE. Uno de estos métodos, que en el trabajo se ha englobado dentro del de evaluación mediante información aportada por el fabricante, son las bases de datos de organismos públicos. No en vano, la regulación actual prevé la posible publicidad de las evaluaciones de riesgos por exposición a campos electromagnéticos.

La ampliación de las posibilidades de llevar a cabo evaluaciones simplificadas puede contribuir a extender la inclusión de este riesgo dentro del abanico de riesgos laborales evaluados genéricamente en cualquier puesto de trabajo. Es muy posible que, en la mayoría de los casos, este riesgo vaya a ser considerado trivial, pero también es un riesgo que conviene tener controlado con carácter previo a la aparición de trabajadores especialmente sensibles. Es, además, un riesgo que puede ser sinérgico con otros riesgos mediante sus efectos indirectos, y que debe considerarse a la hora de adoptar medidas frente a ellos.

En resumen, el riesgo por exposición a campos electromagnéticos es un riesgo de regulación específica reciente, que habitualmente solo era considerado en entornos específicos y cuya evaluación puede ser desde muy simple a muy compleja. Sin embargo, en todos los lugares de trabajo existe alguna exposición a campos electromagnéticos. Es deseable que la evaluación de este riesgo comience a ser incorporada en las evaluaciones de riesgos de cualquier puesto de trabajo previendo, fundamentalmente, sus efectos en trabajadores especialmente sensibles y sus sinergias con otros riesgos. Los métodos de evaluación actuales necesitan de una actualización a la nueva normativa y, sería deseable, una simplificación en los casos en los que actualmente se requieren mediciones y cálculos para facilitar la integración de la evaluación y la consideración de este riesgo la práctica preventiva habitual de cualquier empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Khalili, J. (2015). The birth of the electric machines: a commentary on Faraday (1832) 'Experimental researches in electricity'. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 373(2039).
- Balmori, A. (2004). Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía inalámbrica sobre los seres vivos. *Ardeola*, 51(2), 477-490.
- Batistatou, E., Molter, A., Kromhout, H., van Tongeren, M., Crozier, S., Schaap, K., . . . de Vocht, F. (2016). Personal exposure to static and time-varying magnetic fields during MRI procedures in clinical practice in the UK. *Occupational and Environmental Medicine*, 73(11), 779-786.
- Blank, M., & Goodman, R. (2009). Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology*, 16(2-3), 71-78.
- Clarke, R., & Valentin, J. (2009). The history of ICRP and the evolution of its policies. *Annals of the ICRP*, 39(1), 75-110.
- Comisión Europea. (2015). Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos. Volumen 1: Guía práctica.
- Comisión Europea. (2015). Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos. Volumen 2: Casos prácticos.

Comisión Europea. (2015). Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos. Volumen 3: Guía para las pymes.

Cook, C., Thomas, A., & Prato, F. (2002). Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: A review of recent studies. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, the Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, the European Bioelectromagnetics Association*, 23(2), 144-157.

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). (2004). Diario Oficial de la Unión Europea serie L nº 159 de 30 de abril de 2004, pp. 1-26.

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). (2013). Diario Oficial de la Unión Europea serie L nº 179 de 29 de junio de 2013, pp. 1-21.

Guerriero, F., & Ricevuti, G. (2016). Extremely low frequency electromagnetic fields stimulation modulates autoimmunity and immune responses: A possible immuno-modulatory therapeutic effect in neurodegenerative diseases. *Neural Regeneration Research*, 11(12), 1888-1895.

Gutiérrez, M. A. (2001). *Bioelectromagnetismo: Campos eléctricos y magnéticos y seres vivos* Editorial CSIC-CSIC Press.

Hinrikus, H., Karpowicz, J., & Naarala, J. (2018). Special issue: Electromagnetic fields in biology and medicine. *International Journal of Radiation Biology*, 94(10), 873-876.

Hockberger, P. E. (2002). A history of ultraviolet photobiology for humans, animals and microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*, 76(6), 561-579.

Klonowski, W. (2017). Non-thermal effects of electromagnetic fields in biology and medicine. *Embec & nbc 2017* (pp. 880-883) Springer.

Lai, H. (2005). Biological effects of radiofrequency electromagnetic field. *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering*, 10, 1-8.

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. (1995). Boletín Oficial del Estado nº269 de 10 de noviembre de 1995, ref. 24292, pp. 32 590-32 611.

Lin, J. C. (1976). Microwave auditory effect—a comparison of some possible transduction mechanisms. *Journal of Microwave Power*, 11(1), 77-81.

Lövsund, P., Öberg, P., & Nilsson, S. (1980). Magneto-and electrophosphenes: A comparative study. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 18(6), 758-764.

Oktay, M. F., Dasdag, S., Akdere, M., Cureoglu, S., Cebe, M., Yazicioglu, M., . . . Meric, F. (2004). Occupational safety: Effects of workplace radiofrequencies on hearing function. *Archives of Medical Research*, 35(6), 517-521.

World Health Organization. Radiation, Environmental Health, & World Health Organization. (2002). Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. World Health Organization.

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. (1997). Boletín Oficial del Estado nº 27, de 31 de enero de 1997, ref. 1853, pp. 3031-3045.

Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. (1997). Boletín Oficial del Estado nº 97, de 23 de abril de 1997, ref. 8668, pp. 12 911-12 918.

Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. (2016). Boletín Oficial del Estado nº 182 de 29 de julio de 2016, ref. 7303, pp. 52 811-52 829.

Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). (1999). Diario Oficial de las Comunidades Europeas serie L nº 199 de 30 de julio de 1999, pp. 59-70.

Resolución del 5 de mayo de 1994 sobre la lucha contra los efectos nocivos provocados por las radiaciones ionizantes. (1994). Diario Oficial de las Comunidades Europeas serie C nº 205 de 25 de julio de 1994, pp. 439-441.

Savitz, D. A., Liao, D., Sastre, A., Kleckner, R. C., & Kavet, R. (1999). Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology*, 149(2), 135-142.

Stewart-DeHaan, P. J., Creighton, M. O., Larsen, L. E., Jacobi, J. H., Ross, W. M., Sanwal, M., . . . Trevithick, J. R. *In vitro studies of microwave-induced cataract: Separation of field and heating effects*.

Tipler, P., & Mosca, G. (2004). Physics for scientists and engineers. *Volume 2: Electricity, Magnetism, Light, and Elementary Modern Physics*.

Visser, H. J. (2012). (2012). Aspects of far-field RF energy transport. Paper presented at the *Microwave Conference (EuMC), 2012 42nd European*, 317-320.

Zanotti, G., Ligabue, G., & Gobba, F. (2015). Subjective symptoms and their evolution in a small group of magnetic resonance imaging (MRI) operators recently engaged. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34(3), 262-264.

Referencias de las figuras

Figura 1. Pistola de soldadura por puntos portátil de PW Resistance Welding Products.
Fuente: Imagen en <https://www.pwrwp.co.uk/wp-content/uploads/light-duty-portable-spot-welding-gun-300x300.jpg> consultada el 20/11/2018.

Figura 2. Esquema de exposición a campos electromagnéticos del equipo. Fuente: Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos. Volumen 2: Casos prácticos.

Figura 3. Señal de advertencia de exposición a campos magnéticos intensos. Fuente: Imagen en https://cdn.pixabay.com/photo/2013/04/01/10/55/strong-magnetic-field-98657_960_720.png consultada el 20/11/2018.

Figura 4. Señal de acceso prohibido a personas con implantes médicos (marcapasos). Fuente: Imagen en https://cdn.pixabay.com/photo/2013/04/01/10/55/pacemakers-98625_960_720.png consultada el 20/11/2018.

Figura 5. Señal de peligro por exposición a radiación no ionizante. Fuente: Imagen en https://en.wikipedia.org/wiki/Non-ionizing_radiation#/media/File:Radio_waves_hazard_symbol.svg consultada el 20/11/2018.

Figura 6. Señal genérica de riesgo de origen eléctrico. Fuente: Imagen en https://cdn.pixabay.com/photo/2016/07/01/22/38/industrial-safety-1492062_960_720.png consultada el 20/11/2018.