



ANEXO N°45 INFORME FINAL

Serie Proyectos de Investigación e Innovación

Superintendencia de Seguridad Social
Santiago - Chile

INFORME FINAL

[282-2022]

Revisión bibliográfica sobre evidencia de enfermedades profesionales y el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos estáticos
(CEM de 0 HZ a 300 GHZ)

Autor: Elena Rivera & Natalia Lucero

Institución Asociada: Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile

2023

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2022 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile), y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.





SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL
SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: investigaciones@suseso.cl.

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: www.suseso.cl

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: investigaciones@suseso.cl.

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: www.suseso.cl.

Superintendencia de Seguridad
Social Huérfanos 1376
Santiago, Chile.

ÍNDICE

Revisión bibliográfica sobre evidencia de enfermedades profesionales y el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos estáticos (CEM de 0 HZ a 300 GHZ)
Elena Rivera V. & Natalia Lucero M.

Contenido

I.	Resumen ejecutivo	4
II.	Palabras claves.....	5
III.	Introducción y Antecedentes.....	6
IV.	Definición del problema, pregunta de investigación, objetivos	8
V.	Descripción de la metodología.....	9
VI.	Resultados.....	10
1.	PRISMA Objetivo 1 y 2	10
2.	Análisis de Resultados.....	11
	Objetivo 1. Evidencia científica sobre enfermedades asociadas a la exposición a campos electromagnéticos de 0 Hz-300 GHz en contextos laborales.....	11
	Tabla 1. Resumen de estudios presentados en los resultados.	21
	Objetivo 2. Lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos estáticos	24
VII.	Recomendaciones para el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo.....	43
VIII.	Discusión y Conclusiones	45
a.	Discusión	45
b.	Conclusión	45
IX.	Anexos	48
	Anexo 1: Terminología usada para describir la exposición a campos electromagnéticos y sus magnitudes físicas (Se detallan literalmente como se describen en la guía técnica del INSST):.....	48
	Anexo 2: Glosario	50

I. Resumen ejecutivo

Actualmente la mayor parte de la población está expuesta a campos electromagnéticos (CEM) creados por el ser humano. Estos CEM intervienen en la vida cotidiana y laboral al ser utilizados en la telecomunicación, la industria, la producción eléctrica, equipos médicos y electrodomésticos, por mencionar algunos. Específicamente en contextos laborales, los dispositivos emisores de radiofrecuencia son de uso común, algunos ejemplos son las máquinas de soldar, calentadores de inducción, medicina (RMN, diatermia), radios y telefonía. Desde finales del siglo XX han ido en aumento las publicaciones de estudios sobre posibles efectos en salud asociados a la exposición a CEM, con el fin de regular dicha exposición y proteger la salud de los trabajadores.

En este estudio de revisión bibliográfica se realizan dos estrategias de búsqueda: 1) identificar en la evidencia científica disponible las enfermedades asociadas a la exposición a CEM de 0 Hz -300 GHz; y 2) explorar los lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a CEM de 0 Hz-300 GHz. La búsqueda se lleva a cabo en diversas fuentes que incluyen revistas científicas, literatura gris, bases de datos de organismos nacionales e internacionales y documentación publicada por las sociedades de salud ocupacional de países referentes en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Finalmente, a partir del análisis de resultados de la búsqueda bibliográfica, se realizan recomendaciones y conclusiones en materia de protección y seguridad de trabajadores expuestos a CEM de 0Hz-300Ghz.

II. Palabras claves

Palabras Claves: Campos electromagnéticos, no ionizantes, exposición ocupacional, efectos en salud, lineamientos, control de riesgo ocupacional.

Para establecer las palabras claves se aplican los tesauros DECS para palabras en español y MESH para términos en inglés, por ser referentes en ciencias de la salud.

OE1: Identificar en la evidencia científica disponible las enfermedades profesionales asociadas a la exposición a campos electromagnéticos.				
	Español		Inglés	
	Lenguaje natural	DeCS	Lenguaje natural	MESH
P	Exposición ocupacional trabajadores	Exposición Profesional	Occupational Exposure, Occupational Groups	
I	Campos electromagnéticos no ionizantes, Campos electromagnéticos de baja radiofrecuencia	Campos electromagnéticos	Electromagnetic fields	
C	N/A			
O	Consecuencias para la Salud (Término alternativo deCS)	Enfermedades Profesionales, salud laboral		Injuries, Occupational Diseases, Occupational Health
	Reproducción humana, Efectos biológicos		Human reproduction; biological effects	Neoplasms, Eye Injuries, DNA Damage, Heart Diseases, Hemodynamics

OE2: Explorar los lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos.				
	Español		Inglés	
	Lenguaje natural	DeCS	Lenguaje natural	MESH
P	Exposición ocupacional	Exposición Profesional	Occupational Exposure, Occupational Groups	
I	Campos electromagnéticos no ionizantes, Campos electromagnéticos de baja radiofrecuencia, CEM	Campos electromagnéticos	Electromagnetic fields	
C	N/A			
O	Prevención de riesgos, Directrices, regulación, evaluación, Límite Permissible	Regulación Gubernamental, Valores Límites del Umbral, guías, gestión de riesgos	Risk Prevention, maximum permissible exposure limits, Occupational assessment	Risk Assessment, Guidelines, Government Regulation, Threshold Limit Values, occupational health

III. Introducción y Antecedentes

La exposición a Campos Electromagnéticos (CEM) en el lugar de trabajo no es tan evidente ni tan documentada como otras exposiciones laborales (p.ej. químicos, contaminantes o radiación nuclear).

La radiación electromagnética es energía transmitida a través de un medio como aire, agua, suelo, entre otras y puede presentarse en forma de onda o partículas. Según la cantidad de energía que emiten, se dividen en radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes, en este documento al hablar de CEM nos referimos a radiación no ionizante. Sin embargo, la exposición a estos campos también puede provocar alteraciones biológicas en la población trabajadora expuesta y por ende deben de ser documentada para poder tomar iniciativas en salud pública - laboral.

Los CEM abarcan un rango de **0 Hz (hercio) hasta 300 GHz**, que, a su vez, comprenden los campos magnéticos estáticos (SMF) (imanes, conductores eléctricos de corriente continua, etc.) de 0 – 1 Hz, las radiaciones ELF (bajas en extremo, de 0 Hz a 30 kHz), radiofrecuencias (30 kHz a 300 MHz) y las microondas (300 MHz a 300 GHz) (Unidad de Prevención de Riesgos Laborales & Universidad de Zaragoza, s. f., 2022).

Las nuevas tecnologías que utilizan CEM han aumentado el número de fuentes emisoras y por ende la posibilidad de la exposición humana a este factor lo que ha originado preocupación sobre sus efectos en la salud (Panadero & Rupérez, 2004). Para la salud laboral es de relevancia en los trabajadores de la industria del aluminio, plantas de cloro-álcali, el transporte, la transmisión de energía eléctrica, la investigación, la medicina, los procesos de soldadura (Feychting, 2005; Panadero & Rupérez, 2004; Saunders et al., 1991), las líneas de transmisión de energía eléctrica, las estaciones de transformación que generan campos de muy baja frecuencia, las fuentes de alimentación conmutadas, las estaciones de radiodifusión, las estaciones de televisión y los sistemas de comunicación móvil por celdas, entre otros (Skvarca & Aguirre, 2006).

En relación con las consecuencias de los CEM en la salud, al final de la década de los ochenta, diversos estudios publicaron una posible relación entre la exposición a CEM de baja frecuencia (CEM-BF) en trabajadores de algunos oficios e índices más altos de distintos tipos de cáncer, principalmente leucemia, tumores de encéfalo y cáncer de mama masculino. Sin embargo, otra información indica que no se ha demostrado un mayor riesgo de padecer estas patologías por una mayor exposición a CEM en el trabajo (International Agency for Research on Cancer, 2002). Aunque la comunidad científica no se ha puesto de acuerdo si las tasas de cáncer mayores al promedio son causadas por los CEM u otros factores, en los últimos años se han aumentado los esfuerzos para mejorar las investigaciones sobre el tema (CDC, 2019).

En consecuencia ante la falta de evidencia suficiente sobre los efectos de la exposición a largo plazo de los CEM en los entornos laborales, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha incluido estos campos en su Proyecto Internacional CEM con el fin de identificar además de cáncer, otros efectos en la salud como efectos en el desarrollo físico, reproductivo, inmunológico, hematológico, neuroendocrino, neurodegenerativo, cardiaco, psicológico, conductual y genético (International Agency for Research on Cancer, 2002). Uno de los efectos indirectos a la exposición a CEM que sí se encuentra documentado desde finales de los años noventa es la interferencia electromagnética con dispositivos médicos implantados (marcapasos cardíacos y desfibriladores). Por ejemplo, se sabe que los gradientes de CEM en las instalaciones de imágenes de resonancia magnética convierten objetos metálicos en proyectiles potencialmente peligrosos (International Agency for Research on Cancer, 2002).

En cuanto a la normativa de regulación de la exposición a CEM en contextos laborales, por la falta de certeza científica, diversos países no han establecido límites de las exposiciones de trabajadores a los CEM. De acuerdo con (Skvarca & Aguirre, 2006) al 2006 solo 10 países de América Latina contaban con algún tipo de norma para regular la dosis de exposición permitida a radiaciones no ionizantes, entre ellos Chile con el Decreto 594/00 Salud, Título 4, sobre la contaminación ambiental y Resolución 505/00 de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, SUBTEL. Sin embargo, este Decreto no tienen representación en frecuencias y solo fijan valores puntuales para radiación láser, microondas y luz ultravioleta (*Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile, 2000*).

A nivel internacional existen iniciativas, recomendaciones y pautas emitidas por organismos expertos en el tema que abren la ventana de entender la exposición a CEM como no inocua. Además, la OMS enfatiza la necesidad de identificar los daños a la salud de los CEM a mediano y largo plazo, así como la forma en que estos campos podrían interactuar con otros estímulos.

IV. Definición del problema, pregunta de investigación, objetivos

1. **Definición del problema:** Las investigaciones sobre enfermedades profesionales y el control del riesgo ocupacional a campos electromagnéticos de 0 Hz-300 GHz existe desde la década de los sesenta, sin embargo, la información no ha sido concluyente. Diversos actores han retomado el tema en los últimos años generando nuevas fuentes de información. Contar con la información actualizada sobre daños a la salud causados por los campos electromagnéticos de 0 Hz-300 GHz proporcionaría un punto de inicio para la protección de los trabajadores en esta línea, sobre todo al considerar que este agente de riesgo físico no se encuentra regulado para las exposiciones laborales en Chile, por lo que se espera que esta revisión genere bases fundadas para orientar recomendaciones a implementar en esta materia.
2. **Pregunta de Investigación:** ¿Qué dice la evidencia científica disponible sobre enfermedades profesionales y el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos de 0 Hz-300 GHz?

3. Objetivos:

General:

Identificar y describir la evidencia disponible sobre enfermedades profesionales y el control del riesgo ocupacional por exposición a CEM de 0 Hz-300 GHz.

Específicos:

- 1.- Identificar en la evidencia científica disponible las enfermedades asociadas a la exposición a campos electromagnéticos de 0 Hz-300 GHz en contextos laborales.
- 2.- Explorar los lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos de 0 Hz - 300 GHz.

V. Descripción de la metodología

Diseño

El presente estudio es una revisión bibliográfica que se desarrolló en las siguientes fases:

➤ **Búsqueda de la información**

- Se identificó a partir de patrones semánticos y estructura cognitiva los términos de búsqueda (palabras claves) en español e inglés.
- Se realizaron dos estrategias de búsqueda, una por cada objetivo específico.
- La estrategia de búsqueda se realizó en las principales bases de datos electrónicas relacionadas con salud / salud pública con el fin de identificar la literatura académica disponible. Fuentes Bases: MEDLINE (PMC), Science Direct (Elsevier), Lilacs. Repositorios: Scielo, Pubmed
- Se incluyó una búsqueda de literatura gris en Google Académico para identificar actas de congresos, normativas, conferencias nacionales e internacionales o reportes técnicos de instituciones gubernamentales y no gubernamentales referentes en el tema buscando mantener la calidad de las fuentes de información.
- Además, se realizó una búsqueda dirigida en sitios web de organismos internacionales reconocidos y expertos en el área de salud ocupacional de países referentes en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo con exposición a CEM de 0 Hz -300 GHz.

➤ **Organización de la información**

- La organización de información se realizó con Mendeley® como gestor de referencias.
- Los documentos identificados fueron revisados a dupla, la identificación y selección del material para analizar se realizó con el programa COVIDENCE®.
- Se contaron con criterios de inclusión – exclusión para la selección de documentos.
- Se elaboró un flujo PRISMA para presentar el resumen de los documentos encontrados, eliminados por duplicados y por no cumplir los criterios de inclusión y los que finalmente se incluirán en el análisis.

➤ **Análisis de la información**

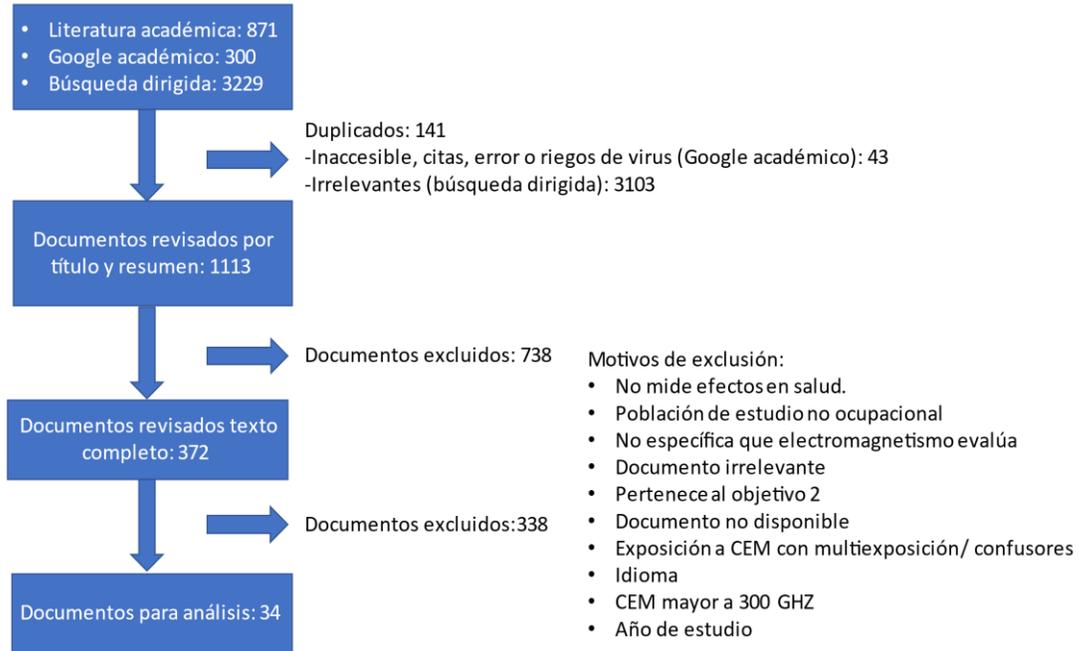
- El análisis de documentos fue deductivo y se usó para cada objetivo una rejilla de extracción de datos en Excel para organizar los resultados de los estudios seleccionados.
- Una vez completada la rejilla de extracción se procedió a realizar el análisis de resultados según los nodos identificados y subcategorías de cada uno de ellos. El análisis se realiza para cada objetivo específico de forma individual.

VI. Resultados

1. PRISMA Objetivo 1 y 2

En la imagen 1 y 2 se describe el proceso de descarte y selección de documentos para llegar al número final del análisis de resultados del objetivo 1 y 2.

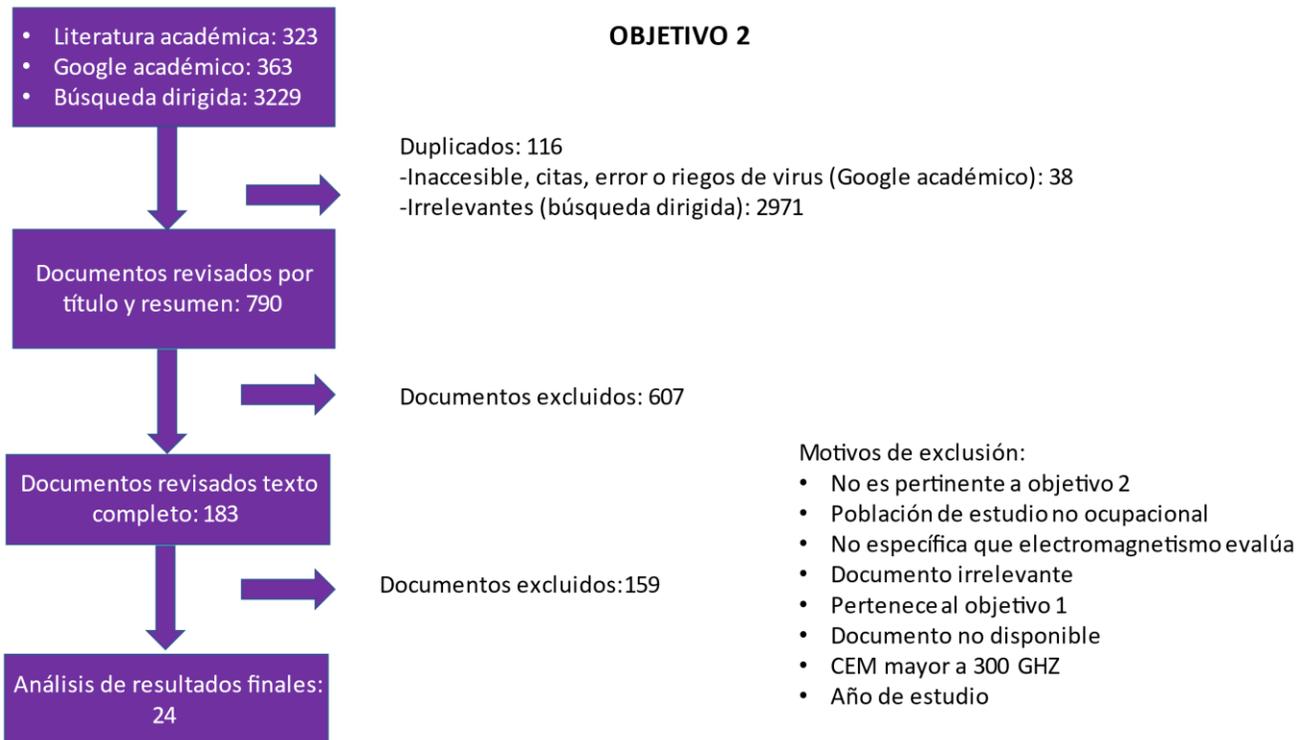
Imagen 1. PRISMA final Objetivo 1



Criterios de exclusión para el OE1:

- Literatura publicada previamente al año 2013.
- Literatura que corresponda a otras poblaciones no trabajadores-salud laboral
- Que no cumpla con el rango de frecuencia Hercios (HZ): 0 Hz a 300 GHZ.
- CEM luz visible e infrarrojos
- Que presente co-exposición:
- Información insuficiente sobre el campo electromagnético al que se está expuesto.

Imagen 2. PRISMA final Objetivo 2



Criterios de exclusión para el OE2:

- Literatura publicada previamente al año 2013.
- Literatura que corresponda a otras poblaciones no trabajadores-salud laboral (posibilidad de incluir lineamientos en población general)
- Que no cumpla con el rango de frecuencia Hercios (HZ): 0 Hz a 300 GHz.
- Que no pertenezca a ninguno de los siguientes:
 - Políticas de salud
 - Recomendaciones
 - Guías / directrices clínicas
 - Límite Permisible de Riesgos Laborales
 - Prevención de riesgo laboral

2. Análisis de Resultados

Objetivo 1. Evidencia científica sobre enfermedades asociadas a la exposición a campos electromagnéticos de 0 Hz-300 GHz en contextos laborales.

Como se presentó en la imagen 1, se analizaron 34 estudios epidemiológicos: casos y controles (16), estudios de cohorte (3), transversales (11), serie de casos (1), revisión de literatura (1), metaanálisis (2).

Los países donde se realizaron las investigaciones son Irán (10), China (9), Suecia (5), India

(3), España (1), Francia (1), Gran Bretaña (1), Israel (1), Pases Bajos (1), Organismos Internacional (1), colaboración de varios países (1).

Los campos electromagnéticos que se investigaron en los documentos fueron principalmente de frecuencia extremadamente baja (CEM-EBF) (23), radiofrecuencia (CEM-RF) (4), CEM RF y frecuencia Intermedia (1), y algunos documentos trabajaron con CEM varios entre 0HZ -300 GHZ (6).

➤ **CEM, neurotransmisores y estrés oxidativo (4)**

La melatonina es un importante antioxidante de amplio espectro y entre sus funciones salvaguarda el ADN celular de daños oxidativos, por lo que su alteración puede generar mutagénesis que es el primer proceso cancerígeno. Por otra parte, se ha evidenciado que la falta de serotonina afecta la salud mental de las personas al estar asociada a depresión, estado de letargo y otros tipos de problemas psiquiátricos. Además, se relaciona con la generación de melatonina.

Se revisaron dos estudios de casos y controles sobre CEM-EBF y alteración de neurotransmisores. Uno encontró una alteración de la melatonina (disminución) y la serotonina (aumento) ($p=0,05$), en trabajadores militares con exposición crónica (> 10 años) por el uso de radios para comunicarse y que formaban parte del grupo de exposición de más alta intensidad (12.5-18GHz) (Singh et al., 2015). El segundo, evaluó la exposición de personal miliar expuesto de forma crónica a radares militares y los niveles de adrenalina, noradrenalina y dopamina. Los expuestos fueron subdivididos en dos grupos: 1) aquellos que trabajaban con el radar I (8-12 GHz) y cuyo periodo de exposición promedio fue de 8.3 (± 5.3) años donde no se encontró diferencias entre expuesto y no expuestos. 2) Los que trabajaban con el radar II (12.5–18 GHZ) con un periodo de exposición de 11.5 (± 4.1) años, en este grupo solo se mostró una disminución significativa en el nivel de adrenalina en plasma ($P < 0.05$) (Singh & Kapoor, 2015).

Por su parte, el estrés oxidativo se define como una afección que se presenta cuando hay demasiadas moléculas inestables llamadas radicales libres en el cuerpo y no hay suficientes antioxidantes para eliminarlas. Es posible que esto ocasione daños en las células y los tejidos (*Definición de estrés oxidativo - Diccionario de cáncer del NCI - NCI, 2011*).

Un estudio de casos y controles con trabajadores de una subestación de voltaje identificó una mayor concentración de epinefrina (un biomarcador del estrés oxidativo) entre la población expuesta ($p=0,05$) (Tiwari et al., 2015). Un estudio transversal evaluó las concentraciones de plasma malondialdehyde (MDA), frecuencia de linfocitos de micronúcleos y las actividades enzimáticas como biomarcador de estrés oxidativo en trabajadores de transformadores y líneas de transmisión eléctricas. No se encontraron cambios significativos la concentración de los elementos evaluados (Li et al., 2015).

Finalmente, otro estudio transversal en trabajadores de plantas de energía, con mínimo 2 años de trabajo a tiempo completo, midió las concentraciones de MDA (nmol/ml), SOD (U/l), Cat (U/ml), TAC (U/ml) como biomarcadores de estrés oxidativo. La distribución del estrés oxidativo de MDA, SOD y Cat fueron significativamente más altos en el grupo expuesto ($p < 0,048$). Además, se observó que las concentraciones de MDA eran mayores al aumentar los grados de exposición en el mismo periodo de tiempo ($p < 0.001$). El documento concluye que el desequilibrio del sistema antioxidante entre los trabajadores de las centrales eléctricas puede estar relacionado con la exposición ocupacional a largo plazo a los CEM (Bagheri Hosseinabadi et al., 2021).

➤ **CEM y enfermedades neurodegenerativas (2)**

La esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) y CEM originados por fuentes eléctricas en el trabajo, es otra asociación que se ha investigado. De acuerdo con dos metaanálisis realizados por los mismos autores (Gunnarsson & Bodin, 2018) (Gunnarsson & Bodin, 2019), al comienzo del siglo XXI se publicaron numerosos estudios que sobre la exposición ocupacional y enfermedades neurodegenerativas como ELA, el Alzheimer y el Parkinson.

En el caso de la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) y CEM originados por trabajos eléctricos, se obtuvo un RR ponderado fue 1.18 (95% CI: 1.07–1.31), el cual indicaría un riesgo mayor a ELA por exposición a CEM. Además, se menciona que la ocupación de soldador es la que se someten a mayores CEM según la maquinaria y técnica de uso, por lo que se sugiere una posible asociación entre trabajadores soldadores y el desarrollo de ELA. Sin embargo, la heterogeneidad de entre estudios fue mayor del 50% lo que indica que las diferencias en los diseños del estudio, las características de la población, etc. son muy amplias, lo que pueden comprometer los resultados del metaanálisis. Los autores también mencionan que posiblemente otras exposiciones dañinas pueden estar asociadas con CEM, como como descargas eléctricas que causan traumatismos musculares (Gunnarsson & Bodin, 2018).

En una siguiente publicación, se obtuvieron RR elevados para ELA 1.26 (1.07–1.50) y Alzheimer 1.33 (1.07–1.64). No se encontró mayor riesgo para Parkinson 1.02 (0.83, 1.26) y un análisis ponderado para las tres patologías obtuvo un riesgo ligeramente elevado 1.19 (1.08, 1.30). Sin embargo, al igual que en la primera publicación, se obtuvo una heterogeneidad entre publicaciones mayor al 50% comprometiendo los resultados de la publicación (Gunnarsson & Bodin, 2019).

➤ **CEM y trastornos musculoesqueléticos (TME) (1)**

Un estudio trasversal en trabajadores de una central eléctrica con al menos dos años de exposición laboral a CEM-EBF, concluyó que los CEM ni la exposición a CEM tuvieron relación significativa con los TME (Bagheri Hosseinabadi, Khanjani, Ebrahimi, et al., 2019).

➤ **CEM y ADN (3)**

Se encontraron tres publicaciones sobre esta línea de investigación de los cuales, dos estudios son del año 2019 en trabajadores de plantas eléctricas. El primer estudio, mostró resultados significativos en la relación entre experiencia laboral y alteraciones en elementos del ADN de los trabajadores expuestos discontinuamente a CEM-EBF, específicamente al campo magnético. Los autores reconocen que entre sus limitantes está el tamaño de su muestra. Además, se hace énfasis en que lo trabajadores que presentaban daño en su ADN, estaban expuestos a límites permitidos por la Conferencia Americana de Higiene Industrial Gubernamental (estándares europeos), por lo que una de sus sugerencias era evaluar los límites mínimos permisibles de exposición a CEM-EBF (Zendejdel et al., 2019). En el segundo estudio, mostró que tres de los cinco índices de medición de daño eran más altos en el grupo expuesto que no expuesto (% de ADN de la cola, el factor de cola y el índice de daño) $p > 0.05$. Además, los niveles de exposición a campos eléctricos no tuvieron una relación significativa con ninguno de los indicadores de daño de ADN. Al parece el impacto de los ELF-EMF en el daño del ADN no está relacionado con el campo eléctrico sino magnético (Bagheri Hosseinabadi, Khanjani, Mirzaii, et al., 2019). El tercer estudio se realizó en trabajadores de líneas de alta tensión eléctrica y encontró evidencia significativa de alteración en el ADN luego de exposición crónica a CEM-EBF (Tiwari et al., 2015).

➤ **CEM, sistema reproductivo masculino y proceso gestacional (2)**

Se encontraron estudios sobre los impactos que causan los CEM-EBF en el sistema hormonal y/o reproductivo, ya que si bien no son radiaciones ionizantes se ha observado que pueden tener alguna interferencia en estos sistemas. En un estudio transversal realizado para evaluar el nivel hormonal de testosterona en hombres trabajadores expuestos a CEM-EBF en una industria de fundición de metales, no se identificó una posible alteración en la reproducción masculina por exposición laboral a CEM-EBF 95(0.999–1.070), además existían otros factores que podrían ser confusores como riesgos laborales físicos, químicos y ergonómicos (Mohammadi et al., 2021).

Un estudio de casos y controles que evaluó a trabajadores de una planta de energía con exposición crónica a CEM-EBF, encontró niveles significativamente más bajos de testosterona en el grupo expuesto ($p = 0.015$), relación testosterona/estradiol ($p = 0.037$) y NF- κ B ($p = 0,045$) que el grupo de control, lo que afecta la calidad plasmática masculina y podría alterar la reproducción (Wang et al., 2015).

Un estudio de cohorte realizado con madres expuestas laboralmente durante periodo gestacional CEM-EBF, no mostró ninguna asociación con la prematuridad del parto ni con el bajo peso al nacer. Contrario a lo esperado, pareciera haber un efecto protector ya que la mayoría de los OR fueron <1 pero tampoco es significativo (Migault et al., 2020).

➤ **CEM y cáncer (4)**

El año 2002 la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), estableció como los CEM-EBF como un posible agente cancerígeno para el ser humano y posteriormente en el 2011 estableció que los CEM-EBF de 30 kHz-300 GHz eran posibles carcinógenos para humanos. A partir de lo anterior, la Organización Mundial de la Salud solicitó aumentar investigación en esta línea, lo que incrementó el número de estudios sobre la exposición ocupacional a CEM y diferentes tipos de cáncer como gliomas, meningiomas, leucemia infantil, cáncer de mama, tumores de cerebro, entre otros.

Carlberg et al., presentan en tres publicaciones consecutivas sobre esta asociación. La primera en el año 2017 sobre asociación de riesgo de glioma (tumor maligno cerebral) y exposición laboral a CEM-EBF en trabajadores eléctricos, donde concluyó que la exposición acumulada en μ T-años en diferentes ventanas de tiempo no proporcionó riesgos estadísticamente significativos para el glioma en general, excepto para del glioma IV en una etapa tardía donde se aumenta el riesgo para una exposición ocupacional acumulada en un periodo de 1 a 14 años OR = 1.9 (1.4-2.6), $p = <0.001$. Se descartó alguna interacción entre exposición ocupacional a CEM-EBF y uso de teléfonos inalámbricos (Carlberg et al., 2017).

En el año 2018 y 2020 por el autor del estudio anterior se concluyó que tampoco existe asociación entre la exposición laboral a CEM-EBF y meningioma (Carlberg et al., 2018), ni con el neuroma acústico (Carlberg et al., 2020).

Igualmente, en el año 2018 se publicaron los resultados del proyecto INTEROCC, un estudio internacional de casos y controles de cáncer cerebral realizado en siete países. La recopilación de datos incluyó historias ocupacionales de por vida, con el objetivo de evaluar distintas exposiciones ocupacionales y cáncer, entre estos la posible asociación entre la exposición laboral a CEM y tumores del sistema nervioso central (glioma y meningioma).

De acuerdo con los odds ratio (OR) de los resultados, no hubo evidencia clara de una asociación positiva entre CEM-RF o CEM-EBF y los tumores cerebrales estudiados: glioma OR 1,62 (0.86, 3.01) y meningioma OR 1,52 (0.65, 3.55) (Vila et al., 2018). A los resultados anteriores se suma un estudio de cohorte que no encontró asociación entre la exposición a CEM-RF por el uso de teléfonos móviles y cáncer (diversos cánceres combinados) HR 1.1 (0.84 - 1.44) $p= 0,492$ (Gao et al., 2019).

Finalmente, de acuerdo con un estudio de serie de casos que documentó la edad de diagnóstico de cáncer en población militar y trabajadores de la industria electrónica expuestos a CEM-RF vs la edad del diagnóstico en población general de Israel, se encontró que la edad de diagnóstico para los militares y trabajadores fue de a los 33.3 años promedio, mientras que para la población general fue de 65.4 años (Peleg et al., 2018).

➤ **CEM y sistema cardiovascular (4)**

La literatura ha indicado en algunos estudios que los CEM-EBF pueden generar alteración del electrocardiograma (ECG), por ejemplo, en un estudio realizado con animales de laboratorio se evidenció que la exposición a CEM-EBF producía toxicidad en el miocardio y por ende alteraciones en el ECG (Ali et al., 2003).

Sin embargo, aún son controversiales los resultados de los estudios en esta línea de investigación, ya que en algunos estudios que han encontrado resultados significativos, no han considerado otros factores confusores como sexo, edad, patologías de base o de riesgo cardiovascular. Entre nuestros resultados, otro estudio que sí consideró estas variables encontró sólo un hallazgo significativo en la población expuesta a CEM-RF y sus resultados del ECG, específicamente en la tasa de bradicardia sinusal ($x_2 = 11,48$, $P = 0,003$) que ocurre cuando el nodo sinoauricular envía señales menos de 60 veces por minuto. En algunos casos, la bradicardia sinusal es normal. Pero, en otras puede significar que hay un problema (Chen et al., 2013). En esta misma línea, otro estudio evaluó a trabajadores de una industria de automóviles expuestos a CEM-EBF, a quienes se les aplicó un ECG junto con exámenes de laboratorio (HCY, ALT, AST y GGT) para conocer si las funciones cardíacas se encontraban en rangos normales. Los resultados mostraron una tasa más alta de ECG y resultados de laboratorio ($p < 0.05$) en comparación con los del grupo control (X. Liu et al., 2013).

Otro estudio realizado en trabajadores de una planta de energía encontró que en el grupo que estaba expuesto de forma crónica a CEM-EBF presentaron cambios significativos en el colesterol LDL $p=0.022$, lo cual es uno de los principales factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, el autor señala que se recomienda realizar más estudios en relación con estos resultados, ya que en otros lípidos séricos (TC, HDL-c, In TGa y TGb) no encontraron hallazgos significativos (Wang et al., 2015).

➤ **CEM, lípidos séricos y parámetros sanguíneos (3)**

Estudios recientes han propuesto que la exposición a CEM-EBF, realizan cambios a nivel celular, afectando el metabolismo, el ARN, el ADN, la división celular y la función de las células inmunitarias, entre otros ejemplos.

Un estudio de casos y controles en empleados de una planta de energía encontró que el nivel medio de las glucoproteínas IL-1b e IL-6, el recuento de glóbulos blancos y de glóbulos rojos (RBC), el porcentaje de linfocitos, el volumen corpuscular medio, el recuento plaquetario y la procalcitonina fueron significativamente mayores en el grupo con exposición crónica (10 años) a CEM-EBF que en el grupo no expuesto ($<.001$). Además, entre los grupos de trabajadores expuestos (técnicos, operadores, ingenieros y oficinistas), aquellos con mayor exposición (técnicos) tuvieron algunos de los parámetros hematológicos séricos más elevados como IL-6, IL-1b, glóbulos blancos, linfocitos, glóbulos rojos y hematocrito ($p= <0.05$). El documento concluye que los grupos ocupacionales más expuestos a campos electromagnéticos tenían niveles aumentados en los parámetros sanguíneos y citoquinas pro inflamatorias, lo que indica una relación de dosis-respuesta (Bagheri Hosseinabadi,

Khanjani, Mirzaii, et al., 2019).

Otro estudio de casos y controles reportó que los empleados de una central eléctrica expuestos a CEM-EBF presentaban una concentración de hemoglobina g/dL (COO glutamic acid/C=O stretching) significativamente más baja que el grupo no expuesto ($p = 0.0001$) (Zendehdel et al., 2020).

Un estudio transversal, también en trabajadores de una planta de energía encontró alteración en los niveles de lípidos séricos de los trabajadores con exposición crónica a CEM-EBF ($p = 0,05$). El estudio sugiere que la exposición crónica a CEM-EBF podría afectar el proceso de metabolismo de los lípidos al cambiar los niveles de lípidos séricos, lo cual es uno de los principales factores de riesgo independientes de enfermedades cardiovasculares (Wang et al., 2015).

➤ **CEM y Hormonas (2)**

La glándula tiroides secreta hormonas la T4, T3, y TSH, que participan en la modulación del comportamiento del ser humano, ya que se ha observado que al estar en niveles deficientes produce alteración de la salud mental, manifestándose como depresión, letargo y somnolencia entre otros. Esta alteración de salud puede ser un riesgo para trabajadores industriales al tener mayor posibilidad de accidentarse, presentar baja productividad o desarrollar su labor padeciendo fatiga crónica.

En esta línea, dos estudios de casos y controles retomaron la exposición CEM-EBF y el cambio en hormonas. El primer documento mostró que los trabajadores soldadores expuestos a CEM-EBF dentro de los límites permitidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), presentaron niveles más bajos de T4 y TSH resultados que eran coherentes en quienes reportaron mayor fatiga en comparación con el grupo control ($p = 0.05$). Es relevante mencionar que los autores de este estudio sugieren controlar los tiempos de exposición a CEM-EBF de los soldadores como medida de prevención ocupacional (Hajizadeh et al., 2019). En otro estudio, realizado en personal que trabaja en un lanzador de aeronaves de barcos navales de E.E.U.U. no encontró resultados significativos en la glándula pituitaria en el grupo expuesto a CEM-EBF sin embargo observan que puede haber una posible inhibición de la desyodación de T4 a T3 en el grupo expuesto (Fang et al., 2022).

➤ **CEM y Alteración Hepática (1)**

Un estudio de casos y controles mostró que los trabajadores de una industria de automóviles expuestos a CEM-EBF, presentaron una disminución de niveles de bilirrubina total e indirecta en relación con el grupo control ($p = 0,05$), lo que podría indicar una posible relación de los CEM con la alteración de la función del hígado. En el artículo se señala que aún es controversial esta asociación, sin embargo, se coincide con el resultado de otros

estudios que además señalan que una exposición crónica a CEM altera los niveles de GGT hepático, lo que podría ser predictor de desarrollar estrés oxidativo (X. Liu et al., 2013).

➤ **CEM e Hipersensibilidad electromagnética (HSE) (1)**

Este término ha sido utilizado para definir los síntomas de salud en personas que lo relacionan con su exposición cotidiana a CEM-EBF. Sin embargo, aún no se puede atribuir esta asociación a través de la evidencia científica por lo que la OMS sugirió un término más neutral para definir esta posible asociación como intolerancia ambiental idiopática. Uno de los estudios que fueron parte de nuestros resultados, tenía como objetivo conocer cuántos profesionales de la salud expuestos a CEM-EBF han consultado por hipersensibilidad. Un tercio de los médicos de salud ocupacional, higienistas ocupacionales y a médicos generales consultados, contestaron que han atendido trabajadores que atribuyen sus síntomas de enfermedad a la exposición cotidiana a CEM-EBF en sus trabajos (Slotte et al., 2017).

➤ **CEM, salud mental, alteraciones del sueño y neurocomportamiento (4)**

Dentro de nuestros resultados, se encontraron tres estudios transversales en trabajadores de plantas eléctricas expuestos a CEM-EBF por un periodo mínimo de dos años. El primero encontró que la depresión fue más grave ($P = 0,039$), y con peor calidad del sueño ($p = 0.049$) en el grupo expuesto que en el grupo no expuesto. Sin embargo, para la ansiedad y el estrés no se encontró diferencia entre los grupos (Bagheri Hosseinabadi, Khanjani, Ebrahimi, et al., 2019). Un segundo estudio del mismo autor, encontró que la población de trabajadores de una planta de energía, con el mismo periodo de exposición, presentaban una prevalencia mayor de síndrome de Burnout ($p < .001$) y depresión ($p = .015$). Según lo señalado por este autor, existe una relación entre alteración del sistema antioxidante y la exposición a CEM-EBF, lo que conlleva a un aumento de biomarcadores del proceso de oxidación, lo que según se ha evidenciado se relaciona con alteración del sueño, depresión, estrés y ansiedad (Bagheri Hosseinabadi et al., 2020).

Un tercer estudio evaluó la mala calidad del sueño en relación con el tiempo de exposición medido en horas/ día, crónico (>23 años) y temporalidades intermedias. Solo se encontraron resultados significativos para los expuestos <4 horas por día OR 1.68 (1.18, 2.39 $p = 0,004$) y > 4 horas por día OR 1.57 (1.10, 2.24 $p = 0,012$). De acuerdo con el autor esto implicaría que la exposición diaria a los CEM-EBF puede dañar la calidad del sueño humano en lugar de la duración del sueño (H. Liu et al., 2014).

El neurocomportamiento fue analizado por un estudio de casos y controles en trabajadores que realizan inspecciones turísticas cerca de transformadores y líneas eléctricas. Los investigadores evaluaron el neurocomportamiento a partir de un instrumento que mide distintos rubros: la aritmética mental total, la reacción visual, el intervalo de dígitos auditivos, el tiempo de reacción visual simple, la curva coincide y el conjunto como evaluación global. Las puntuaciones de cada rubro de forma independiente no mostraron significación

estadística ni la evaluación global. Por lo que se concluyó que los cambios en el neurocomportamiento causados por la exposición diaria repetida a ELF-EMF no se observaron en el estudio (Li et al., 2014).

➤ **CEM y sintomatología reportada en mujeres en edad reproductiva (1)**

Un estudio de cohorte retrospectivo en operadoras de máquinas de soldadura de plástico en edad reproductiva (18-40 años) con exposición a CEM reportó en primer lugar que los niveles medidos de CEM eran mucho más altos que los especificados en el Estándar Nacional de China y el ICNIR. Además, que las operadoras que experimentaron una situación de exposición de casi todo el cuerpo reportaron síntomas neurovegetativos (mareo, dolor cabeza, letargo, problemas de sueño, pérdida de memoria, irritabilidad, fatiga, hidrosis, dolor muscular, menorragia) ($p < 0.01$), trastorno menstrual ($p < 0.01$) y malestares relacionados con insomnio, sudoración nocturna, palpitación, anorexia, libido disminuido, síntomas menstruales pero estos últimos no fueron significativos ($p > 0.05$) (Xu et al., 2016).

➤ **CEM y exposición parental (1)**

Un estudio de casos y controles realizado a padres expuestos a CEM con niños entre 16 y 36 meses de edad buscó asociar dicha exposición con la presencia del trastorno del espectro autista en los niños. Se aplicó un cuestionario orientado a conocer la ocupación de los padres en el momento del acceso al servicio de atención (o la última ocupación), pero no el grado de exposición a cada uno de los factores de riesgo antes del embarazo. No se encontró asociación significativa entre la exposición parental a CEM y el trastorno del espectro autista (Pino-López & Romero-Ayuso, s. f.).

➤ **CEM-RF ICNIRP (1)**

De acuerdo con la última actualización de las *Directrices para limitar la exposición a campos electromagnéticos (100 kHz a 300 GHz)*, se realiza una revisión de literatura principal de estudios independientes, organismos internacionales y otras revisiones de relevancia que incluyen estudios experimentales en animales y no solo epidemiológicos para la elaboración de las directrices.

Los resultados obtenidos de dicha revisión mostraron que con respecto los daños por CEM-RF, solo se ha demostrado cierta evidencia de daño ocular superficial en conejos. En el sistema endócrino, el nivel más bajo al que se ha observado un efecto de los CEM-RF es de 4 W kg^{-1} (en roedores y primates), pero no hay evidencia de que esto se traduzca en humanos o sea relevante para la salud humana y no se han comprobado otros efectos informados. Para el sistema cardiovascular, el sistema nervioso autónomo y la termorregulación solo se han reportado daños en animales con exposición en todo el cuerpo sustancialmente más alta que 4 W kg^{-1} .

Con respecto a los efectos en la fisiología y función del cerebro, función auditiva, vestibular, enfermedades neurodegenerativas, sistema inmunitario y hematología, fertilidad,

reproducción y desarrollo infantil y cáncer no reportan evidencia experimental o epidemiológica comprobada de que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia afecte estos temas de salud.

Los únicos efectos adversos comprobados han sido para la estimulación nerviosa, donde se han visto cambios en la permeabilidad de las membranas celulares y los efectos debidos a la elevación de la temperatura. No hay evidencia de efectos adversos para la salud a niveles de exposición por debajo de los niveles de restricción en las pautas ICNIRP (1998) y no hay evidencia de un mecanismo de interacción que prediga que podrían ocurrir efectos adversos para la salud debido a la exposición a CEM de radiofrecuencia por debajo de esos niveles de restricción (ICNIRP, 2020).

Los hallazgos del objetivo 1 se resumen en la tabla 1 donde se presentan los documentos utilizados para el análisis de resultando. De los 34 documentos, 11 no encontraron ninguna asociación entre un efecto en salud y exposición a CEM, 12 documentos si identificaron efectos en salud asociados a la exposición, pero estos efectos fueron significativos para bajo ciertas condiciones, por ejemplo, solo en un rango de edad específico, el efecto solo se asocia al campo magnético y no eléctrico, etc. Finalmente, los 11 documentos restantes sí identificaron efectos en salud asociados a la exposición a algún tipo de campo electromagnéticos, estamos hablando de efectos hematológicos, alteración de neurotransmisores, hormonas, funciones cardiovasculares, estrés oxidativo y daños en el ADN, síndrome de bournout, depresión y cáncer (edad de diagnóstico).

Tabla 1. Resumen de estudios presentados en los resultados. —resultados no significativos, Δ resultados significativos bajo ciertas condiciones, ○ resultados significativos.

ELA: Esclerosis lateral amiotrófica. ECG: Electrocardiograma. CEM-EBF: Campos electromagnéticos de extrema baja frecuencia. RF: Radiofrecuencia.

N	Autores	Diseño de estudio	Efecto	Exposición	Resultado	Conclusión
1	Li et al., 2015	Transversal	Estrés oxidativo	CEM-EBF /Crónica	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
2	Gunnarsson & Bodin, 2018	Metaanálisis	ELA	CEM	Δ	Riesgo mayor de ELA por exposición a CEM. La heterogeneidad de entre estudios fue >50% lo que compromete los resultados del metaanálisis.
3	Mohammadi et al., 2021	Transversal	Infertilidad masculina	CEM-EBF	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
4	Carlberg et al., 2017	Casos y controles	Glioma	CEM-EBF	Δ	Sin riesgo para el glioma en general, excepto para del glioma IV en etapa tardía con una exposición acumulada (1 a 14 años).
5	Carlberg et al., 2020	Casos y controles	Neuroma acústico	CEM-EBF	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
6	Carlberg et al., 2018	Casos y controles	Meningioma	CEM-EBF	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
7	Bagheri Hosseinabadi et al., 2019	Transversal	Daño ADN	CEM-EBF /Crónica	Δ	Tres de los cinco índices de daño eran más altos en los expuestos. El impacto en el ADN está relacionado con el campo magnético.
8	Zendehdel et al., 2019	Transversal	Daño ADN	CEM-EBF	Δ	Diferencia significativa en la alteración del ADN entre los expuesto y no expuesto, la alteración se asocia a los campos magnéticos y no eléctricos.
9	Chen et al., 2013	Casos y controles	Cambios en ECG	CEM-RF	Δ	Sólo un hallazgo significativo en los resultados del ECG de la población expuesta (tasa de bradicardia sinusal).
10	Bagheri Hosseinabadi et al., 2019	Casos y controles	Efectos hematológicos	CEM-EBF /Crónica	○	Niveles más altos en los parámetros sanguíneos y citoquinas proinflamatorias en el grupo con mayor exposición.
11	Singh et al., 2015	Casos y controles	Efectos serotonina y melatonina	CEM-EBF /Crónica	○	Alteración de la melatonina y la serotonina en trabajadores con exposición crónica.

12	Hajzadeh et al., 2019	Casos y controles	Efecto en hormonas tiroideas y fatiga	CEM-EBF	○	Niveles más bajos de T4 y TSH y mayor fatiga entre los expuestos.
13	Fang et al., 2022	Casos y controles	Efecto en glándula tiroides	CEM-EBF	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
14	Wang et al., 2016	Casos y controles	Biomarcadores hormonales e inflamatorios	CEM-EBF /Crónica	○	Niveles más bajos de testosterona, relación testosterona/estradiol y NF-κB en el grupo expuesto, lo que afecta la calidad plasmática masculina.
15	Wang et al., 2015	Transversal	Efectos en los lípidos séricos	CEM-EBF /Crónica	Δ	Cambios significativos solo en los niveles de colesterol LDL.
16	Liu et al., 2013	Casos y controles	Función cardiovascular, hepática y biomarcadores	CEM-EBF /Crónica	○	Alteración en el sistema cardiovascular, hepático y hematológico.
17	Slottje et al., 2017	Transversal	Hipersensibilidad	CEM-EBF	Δ	Un tercio de los médicos mencionaron haber atendido trabajadores que atribuyen sus síntomas a la exposición a CEM-EBF.
18	Tiwari et al., 2015	Casos y controles	Estrés oxidativo y daño en ADN	CEM-EBF /Crónica	○	Mayor concentración de epinefrina y de alteración en el ADN entre los expuestos.
19	Xu et al., 2016	Cohorte	Sintomatología reportada	CEM	○	Las operadoras expuestas reportaron diversas sintomatologías.
20	Bagheri et al., 2020	Transversal	Síndrome de Burnout y depresión	CEM-EBF /Crónica	○	Prevalencia mayor de síndrome de Burnout y depresión
21	Migault et al., 2020	Cohorte	Prematuridad del parto y BPN	CEM-EBF/Aguda	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
22	Li et al., 2014	Casos y controles	Neurocomportamiento	CEM-EBF/Aguda	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
23	Liu et al., 2014	Transversal	Calidad del sueño	CEM/Aguda/crónica	Δ	Solo se encontraron efectos en el sueño para la exposición aguda.
24	Singh & Kapoor et al., 2015	Casos y controles	Niveles de catecolaminas	CEM/ Crónica	Δ	Disminución del nivel de adrenalina en plasma en los trabajadores con mayor exposición.

25	Vila et al., 2018	Casos y controles	Riesgo de glicoma y meningioma	CEM-RF /Aguda/crónica	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
26	Gunnarsson & Bodin et al., 2019	Metaanálisis	ELA, Alzheimer y Parkinson	CEM	Δ	Riesgo más elevado para ELA y Alzheimer. La heterogeneidad de entre estudios fue >50% lo que compromete los resultados del metaanálisis.
27	Bagheri Hosseinabadi et al., 2021	Transversal	Estrés oxidativo	CEM-EBF /Crónica	○	El estrés oxidativo de MDA, SOD y Cat fue más alto en el grupo expuesto y con mayor periodo de tiempo.
28	Gao et al., 2019	Cohorte	Riesgo de cáncer	CEM-RF/Agudo	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
29	Zendehdel et al., 2020	Casos y controles	Concentración de hemoglobina	CEM-EBF	○	Concentración de hemoglobina g/dL significativamente más baja en el grupo expuesto
30	Peleg et al., 2018	Serie de casos	Edad de diagnóstico de cáncer	CEM-RF	○	La edad promedio de diagnóstico entre los expuesto fue de a los 33.3 años vs la población general que fue de 65.4 años
31	Bagheri Hosseinabadi et al., 2019	Transversal	Calidad del sueño	CEM-EBF /Crónica	Δ	La depresión fue más grave y con peor calidad del sueño en el grupo expuesto. Sin diferencia para la ansiedad y el estrés.
32	Bagheri Hosseinabadi et al., 2019	Transversal	Trastornos musculoesqueléticos y estrés oxidativo	CEM-EBF /Crónica	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
33	Pino-López et al., 2013	Casos y controles	Trastornos del espectro autista	CEM	—	Sin cambios o asociación significativa entre exposición y efecto en salud.
34	ICNIRP 2020	Revisión de literatura	Efectos adversos varios	CEM-RF	Δ	El único efecto adverso comprobado han sido la estimulación nerviosa (permeabilidad celular)

Objetivo 2. Lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos estáticos

En este apartado se presentan los resultados que son inherentes al objetivo de explorar los lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos de 0-300 GHz.

A modo de introducción en este tema, es relevante aclarar la terminología que se utilizan en la normativa de lineamientos y directrices en la exposición laboral a CEM, para comprender el análisis de resultados de este objetivo. La terminología explicada, se basa en la guía técnica del Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo (INSST) (España)(INSST, 2019), por ser una fuente confiable y referente internacional que tiene años de desarrollo y experiencia en la materia.

En las directivas internacionales de exposición ocupacional a CEM, consideran efectos fisiológicos en el cuerpo humano (Que han sido ya evidenciados por la literatura científica), como referencia para categorizar los niveles de acción a los que se exponen los trabajadores (INSST, 2019). Estos efectos en la salud por exposición a CEM se detallan a continuación:

- Efectos Biofísicos Directos: Efectos en el cuerpo humano causados directamente por campos electromagnéticos. Los efectos producidos pueden ser térmicos, no térmicos y corrientes en las extremidades. Los efectos térmicos son por el calentamiento de los tejidos por la absorción de energía procedente de campos electromagnéticos. Y los efectos no térmicos son la estimulación de los músculos, de los nervios o de los órganos sensoriales; estos efectos podrían ser perjudiciales para la salud física y mental de los trabajadores expuestos; además, la estimulación de los órganos sensoriales podría dar lugar a síntomas transitorios, como vértigo o fosfenos retinianos. Estos efectos podrían provocar molestias temporales, alterar el conocimiento u otras funciones cerebrales o musculares y por tanto podrían repercutir en la capacidad del trabajador para trabajar de manera segura (INSST, 2019).
- Efectos Indirectos: Causados por la presencia de un objeto que pueda entrañar un riesgo para la salud o la seguridad de los trabajadores cuando se exponen a CEM. Aquí se encuentran los dispositivos pasivos y activos que por motivos de salud porten los trabajadores, como dispositivos médicos electrónicos (incluidos los marcapasos cardíacos y otros dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo). Otro ejemplo son los objetos ferromagnéticos que se vuelven proyectiles en exposición a campos magnéticos estáticos, los detonadores, incendios y explosiones resultantes de la ignición de materiales inflamables mediante chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas en forma de chispa y las Corrientes de contacto (INSST, 2019).

Se debe comprender que los riesgos de la exposición a CEM son derivados de la frecuencia y la intensidad del campo. Por lo que para medir el riesgo que representan para los trabajadores se debe hacer mediciones en magnitudes físicas fácilmente medibles. Sin embargo, es importante mencionar que los Valores Límites de exposición (VLE) son expresados en función de magnitudes físicas medidas al interior del cuerpo humano, las que son inducidas por campos magnéticos por lo que no es fácil su medición. Por lo que, para simplificar la evaluación del cumplimiento de las directrices de los VLE, se utilizan los niveles de acción que son establecidos por magnitudes ambientales que por lo general se pueden medir con la sonda apropiada.

Los niveles de acción son valores de referencia para adoptar medidas específicas de protección o prevención, y son distintos para campos magnéticos y eléctricos. Para los campos eléctricos, se entenderá por «niveles de acción inferiores» y «niveles de acción

superiores» los niveles relacionados con medidas específicas de protección. Y para los campos magnéticos, se entenderá por «niveles de acción inferiores» los niveles correspondientes a los VLE relacionados con efectos sensoriales y por «niveles de acción superiores» los correspondientes a VLE relacionados con efectos para la salud.

Los Valores Límite de Exposición (VLE) se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas, en particular sobre la base de efectos directos agudos y a corto plazo comprobados científicamente, por ejemplo, los efectos térmicos y la estimulación eléctrica de los tejidos (INSST, 2019). Otras terminologías que se usan para describir la exposición a campos electromagnéticos y sus magnitudes físicas se describen en el Anexo 1.

Ya explicada la terminología para comprender los análisis del Objetivo 2, se presentan a continuación los resultados obtenidos. La información se agrupó en tres categorías: Provenientes de Referentes técnicos, Directrices sobre CEM de países puntuales y temas específicos relacionados a exposición ocupacional a CEM.

1. Referentes técnicos de CEM:

a. Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP)

La Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, por sus siglas en inglés) es una organización sin fines de lucro sobre protección contra la radiación no ionizante reconocida formalmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Unión Europea (UE) (ICNIRP, 2020a). Este organismo actualizó sus directrices para limitar la exposición a campos electromagnéticos (100 KHZ a 300 GHZ) en el año 2020, las cuales remplazan las directrices de 1998 y 2010 (ICNIRP, 2020b).

Estas directrices plantean límites de exposición para población general y ocupacional. En este sentido se considera que las personas expuestas ocupacionalmente son, en general, adultos relativamente sanos dentro de un rango de edad limitado (ICNIRP, 2020a). Las pautas están diseñadas para proporcionar orientación sobre protección radiológica de una manera que las autoridades reguladoras y de salud puedan usar para establecer regulaciones que reduzcan o eviten el riesgo de daño causado por la exposición a radiación no ionizante (ICNIRP, 2022).

El proceso de la ICNIRP para realizar sus guías y directrices puede resumirse en cuatro puntos cuyo resultado debería propiciar un amplio margen de seguridad para las personas expuestas, es decir que, si en un momento determinado los límites se exceden, no implica necesariamente riesgo a la salud (ICNIRP, 2020b):

1. Identificar datos científicos sobre efectos de la exposición.
2. Determinar si esos efectos son adversos para los humanos y científicamente sostenidos.
3. Identificar los niveles de exposición mínimos en los que se produce el daño.
4. Aplicar factores de reducción a la exposición (restricciones).

Se plantean dos tipos de restricciones, la primera es la **restricción básica** y esta se refiere a CEM en personas y no se pueden medir fácilmente (ICNIRP, 2020b).

Tabla 2. Restricción básica para exposición a campos electromagnéticos (100 KHZ a 300 GHZ) ICNIRP 2020.

Parámetro	Rango de frecuencia	ΔT	Promedio espacial	Promedio temporal	Nivel de efecto en salud	Factor de reducción	Trabajadores
Torso	100 kHz-300 GHz	1°C	WBA*	30 min	4 w/kg	10	0.4 w/kg
Cabeza y torso	100 kHz- 6 GHz	2°C	10g	6 min	20 w/kg	2	10 w/kg
Piernas	100 kHz- 6 GHz	5°C	10g	6 min	40 w/kg	2	20 w/kg
Cabeza, torso y piernas	>6-300 GHz 30-300 GHz	5°C	4 cm ² 1 cm ²	6 min	200 w/m ² 400 w/m ²	2	100 w/m ² 200 w/m ²

El segundo tipo de restricción son los **niveles de referencia** que son los CEM en el ambiente que pueden ser medido más fácilmente y típicamente se usan para la seguridad de las personas (ICNIRP, 2020b).

Tabla 3. Niveles de referencia para exposición a campos electromagnéticos (100 KHZ a 300 GHZ) ICNIRP 2020.

Parámetro	Rango de frecuencia	Intensidad del campo eléctrico	Intensidad del campo magnético	Densidad de potencia	Promedio temporal
Cuerpo completo	0.1 – 30 MHz >30 – 400 MHz >400 – 2000 MHz >2 – 300 GHz	660/ fM 0.7 61 3/ fM 0.5 NA	4.9/ fM 0.16 0.008/ fM 0.5 NA	NA 10 fM /40 50	30 min
Local	0.1 – 30 MHz >30 – 400 MHz >400 – 2000 MHz >2 – 6 GHz >6 – <300 GHz 300 GHz	1504/ fM 0.7 139 10.58/ fM 0.5 NA NA NA	10.8/ fM 0.7 0.36 0.0274/ fM 0.5 NA NA NA	NA 50 0.29/ fG 0.86 200 275/ fM 0.177 100	6 min
Local	100 kHz-400MHz >400MHz-2000MHz >2 – 6 GHz >6 – <300 GHz 300 GHz	NA	NA	NA 0.29/ fM 0.86 200 x 0.36 275/ fG 0.177 100 x 0.36	Intervalos de tiempo >0 y < 6 min
Local para valores pico	100 kHz – 10 MHz	170	180	NA	NA

NA" significa "no aplicable" y no es necesario tenerlo en cuenta al determinar el cumplimiento.

fM es la frecuencia en MHz. fG es la frecuencia en GHz.

MHz: Megahercio KHz: Megahercio GHz: Megahercio

Para otro rango de CEM como son los estáticos, no se tienen actualizaciones desde el año 2009, la cual recomienda límites de exposición ocupacional de la cabeza y el tronco no supere una densidad de flujo magnético máxima espacial de 2 Teslas, excepto para aplicaciones laborales para las que se consideren necesarias exposiciones superiores a 2 T, en estos casos se permiten exposiciones de hasta 8 Teslas si el ambiente está controlado y se implementan prácticas de trabajo apropiadas para controlar los efectos inducidos por el movimiento (ICNIRP, 2009).

b. Japan Society for Occupational Health (JSOH)

No existen límites legalmente vinculantes para la exposición ocupacional a los CEM. La JSOH ha recomendado límites de exposición ocupacional para los CEM idénticos a los bajos niveles de acción en la directiva de la UE (Stam, 2018).

Se muestran a continuación tablas sobre los límites de exposición a Campos Electromagnéticos, recomendadas por la Sociedad de Salud Ocupacional de Japón (JSOH, 2021) Los autores de este documento hacen la siguiente aclaración para considerar la información de recomendación de los CEM:

- El límite promedio de exposición ocupacional (OEL-M) para la concentración media de un agente de riesgo, se define como el valor de referencia de la concentración media de exposición, en o por debajo de la cual, los efectos adversos para la salud causados por el agente de riesgo no aparecen en la mayoría de los trabajadores que trabajan 8 horas al día, 40 horas a la semana bajo un trabajo de carga moderada. La exposición por encima de OEL-M debe incluso evitarse.

El límite máximo de exposición ocupacional (OEL-C) se define como el valor de referencia a la máxima concentración de un agente de riesgo al que se puede exponer durante un día laboral en o por debajo del cual los efectos adversos para la salud no aparecen en la mayoría de los trabajadores.

Tabla 4: Campos Magnéticos estáticos (Frequency: 0~0.25 Hz)

	OEL-M	OEL-C
Head, trunk	200 mT ($1.63 \times 10^5 \text{ Am}^{-1}$)	2T
Extremities	500 mT ($4.08 \times 10^5 \text{ Am}^{-1}$)	5T

Tabla 5: Low frequency time-varying electric and magnetic fields (Frequency: 0.25 Hz~100 kHz)

Frequency (f)	EF*	Magnetic flux densi	MF**	Power density
0.1~3.0 MHz	614 Vm^{-1}	$6/f \mu\text{T}$	$4.88/f \text{ Am}^{-1}$	
3.0~30 MHz	$1,842/f \text{ Vm}^{-1}$	$6/f \mu\text{T}$	$4.88/f \text{ Am}^{-1}$	
30~400 MHz	61.4 Vm^{-1}	$0.2 \mu\text{T}$	0.163 Am^{-1}	10 Wm^{-2}
400~2000 MHz	$3.07f^{0.5} \text{ Vm}^{-1}$	$0.01f^{0.5} \text{ Mt}$	$8.14f^{0.5} \text{ mAm}^{-1}$	$f/40 \text{ Wm}^{-2}$
2~300 GHz	137 Vm^{-1}	$0.447 \mu\text{T}$	0.364 Am^{-1}	50 Wm^{-2}

Tabla 6. Radio-frequency electromagnetic fields (Frequency: 0.1 MHz~300 GHz)

Frequency (f)	EF*	Magnetic flux densi	MF**	Power density
0.1~3.0 MHz	614Vm ⁻¹	6/f μT	4.88/f Am ⁻¹	
3.0~30 MHz	1,842/f Vm ⁻¹	6/f μT	4.88/f Am ⁻¹	
30~400 MHz	61.4Vm ⁻¹	0.2 μT	0.163Am ⁻¹	10Wm ⁻²
400~2000 MHz	3.07f ^{0.5} Vm ⁻¹	0.01f ^{0.5} Mt	8.14f ^{0.5} mAm ⁻¹	f/40 Wm ⁻²
2~300 GHz	137Vm ⁻¹	0.447 μT	0.364Am ⁻¹	50Wm ⁻²

*EF:electricfield

†MF: magnetic field

c. Comisión Federal de comunicaciones (FCC) de EE. UU. y Control de radiofrecuencias

Este apartado del análisis se realiza a partir de la normativa “Exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia y reevaluación de los límites y políticas de exposición a radiofrecuencia de la FCC” (FCC, 2020) y se hará referencia sólo a lo atinente a salud ocupacional de trabajadores de telecomunicaciones.

En este documento dan recomendaciones orientadas a la protección de la salud de trabajadores expuestos a radiofrecuencia. Las más relevantes las resumimos a continuación:

- En lugares donde el límite de exposición para el personal ocupacional podría excederse potencialmente hasta por un factor de diez se requieren letreros con la palabra de señal apropiada “PRECAUCIÓN” en color amarillo, y control o indicadores (por ejemplo, cadenas, barandas, pintura contrastante, diagramas), además del control de acceso, rodeando el área en la que se excede el límite de exposición.
- La Comisión permitió, bajo ciertas condiciones controladas, que un letrero se adjunte directamente a la antena. Una etiqueta adherida a una antena se considerará suficiente solo si es legible desde la dirección de aproximación y al menos a la distancia de separación requerida para cumplir con el límite de exposición ocupacional.
- Se requiere de capacitación adecuada para cualquier personal ocupacional con acceso al área controlada donde se exceda el límite de exposición de la población general.
- Se requiere el uso de promedios de tiempo para individuos transitorios para garantizar el cumplimiento del límite de exposición de la población general.
- El personal ocupacional debidamente capacitado puede usar monitores de RF o equipo de protección personal para garantizar el cumplimiento de los límites ocupacionales
- Se requiere que una persona sea plenamente consciente (p. ej., se haya brindado capacitación, se hayan colocado carteles de advertencia que detallen la naturaleza del peligro) y sea capaz de ejercer control sobre su exposición relacionada con el trabajo.
- Se requieren letreros de "PELIGRO" con el color asociado (rojo) donde se producirán lesiones inmediatas y graves por contacto, además del control de acceso positivo, independientemente de las medidas de mitigación tomadas

A continuación, se detallan los límites permisibles de exposición a radiofrecuencias

aceptados por la FCC:

Tabla 7. Limits for Maximum Permissible Exposure (MPE) for Occupational/Controlled Exposure

Frequency range (MHz)	Electric field strength (V/m)	Magnetic field strength (A/m)	Power density (mW/cm ²)	Averaging time (minutes)
0.3-3.0	614	1.63	*(100)	≤ 6
3.0-30	1842/f	4.89/f	*(900/f ²)	<6
30-300	61.4	0.163	1	<6
300-1,500			f/300	<6
1,500-100,000			5	<6

Fuente: Elaboración propia a partir del registro federal de EEUU sobre límites de exposición a radiofrecuencias
 f = frequency in MHz. * = Plane-wave equivalent power density

Los autores de este documento señalan aclaraciones sobre la tabla anteriormente expuesta, de las que expondremos las principales ideas fuerza:

- Los límites de exposición ocupacional/controlada se aplican en situaciones en las que las personas están expuestas como consecuencia de su empleo, siempre que esas personas sean plenamente conscientes del potencial de exposición y puedan ejercer control sobre su exposición. La frase totalmente consciente en el contexto de la aplicación de estos límites de exposición significa que una persona expuesta ha recibido información escrita y/o verbal que explica completamente el potencial de exposición a RF resultante de su empleo.
- En situaciones en las que una persona no capacitada transite por un lugar donde se aplican límites ocupacionales/controlados, se le debe informar sobre el potencial de exposición y ser supervisado por personal capacitado.
- Se requiere el uso de promedios de tiempo para garantizar el cumplimiento del límite de exposición de la población general. La frase ejercer control significa que una persona expuesta puede y también sabe cómo reducir o evitar la exposición mediante prácticas laborales administrativas o de ingeniería, como el uso de equipo de protección personal o el tiempo promedio de exposición.

En carta de la FDA a la FCC en respuesta a una solicitud de orientación sobre los estándares a seguir a medida que se introducen nuevas tecnologías como 5G, la FDA recomienda considerar los siguientes puntos (Knapp, 2019):

- Los dispositivos de transferencia de energía inalámbrica (WPT) más nuevos operan a frecuencias para las cuales los límites de exposición aún no se han especificado.
- Aunque no son idénticos en sus especificaciones, tanto el IEEE las Directrices ICNIRP son adecuados para proteger al público en general en este rango de frecuencias.
- Los marcapasos implantables actuales son típicamente probados a los límites de exposición humana especificados en las Directrices ICNIRP 1998 (Física de la Salud 1998). Cualquier emisor que exceda los niveles de ICNIRP 1998 sería una fuente potencial de interferencia para los dispositivos implantados activos. La adopción de niveles de emisiones más altos puede exponer a los pacientes a riesgos innecesarios.
- El análisis de información científica que pueda estar relacionada con la seguridad de los teléfonos celulares y otros productos electrónicos concluyen que no se justifican cambios en los estándares actuales en este momento.

- d. Comisión Interamericana de Protección Radiológica de Campos Electromagnéticos (CIPRACEM), Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe (FRALC) y Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA)

Estos organismos han estado trabajando en conjunto para la emisión de una guía informativa que tiene por objetivo ayudar a las autoridades competentes en la comprensión y en la aplicación práctica de los “Principios de ICNIRP-2020” y de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)-103 del 2007 que son las 2 Normas Internacionales producidas y aceptadas por el organismo responsable creado por el IRPA y por la comunidad internacional sobre protección radiológica (CIPRACEM et al., 2020).

Los lineamientos del ICNIRP para protección radiológica ya fueron presentados previamente. Sin embargo, esta guía realza los tres Principios básicos de la Radio protección enunciados en el ICRP-103 del 2007, los cuales no han sido aplicados en las radiaciones no ionizantes pero que los diseñadores de esta guía consideran que son relevantes para proveer información y soporte a todas las autoridades en la aplicación de los Principios del ICRP basados en la experiencia adquirida durante muchos años en la regulación de las Radiaciones Ionizantes.

- 1- **Principio de justificación:** No deben realizarse exposiciones que no estén debidamente justificadas.
- 2- **Principio de optimización de la protección:** La probabilidad de exposición, el número de expuestos y la magnitud de las dosis individuales serán mantenidas tan bajas como sea posible.
- 3- **Principio de aplicación de límites de dosis:** La dosis total a todo individuo no debería exceder los límites apropiados especificados por la Autoridad competente a fin de prevenir los efectos dañinos para la salud. Una cuestión importante que destacan los “Principios del ICNIRP 2020” es el concepto de Dosis; y, como tal, es el producto de la intensidad de la exposición y la duración de la exposición.

En otro documento con el mismo énfasis se agregan dos puntos más a considerar (Touzet, 2021):

- 4- El Criterio Conservativo: Para la estimación de los Límites de Dosis, ICNIRP generalmente “asume las situaciones más desfavorables” y “toma en consideración las incertidumbres en la evidencia científica” siempre en beneficio de las personas que se deben proteger (esto es equivalente al criterio Conservativo utilizado por el ICRP en todas sus recomendaciones)
- 5- Efectos científicamente comprobados (criterios de Bradford Hill): ICNIRP establece sus pautas de exposición únicamente sobre la base de “efectos científicamente comprobados”. Con este objetivo para los estudios epidemiológicos, debe haber una descripción adecuada del grupo de población investigado, la exposición debe estar bien definida y debe haber una identificación y control adecuado de los factores de confusión para la minimización del sesgo. Para lograr “efectos científicamente comprobados” es fundamental la aplicación de los 9 Criterios formulados por Sir Bradford Hill (1965) que son imprescindibles para determinar la “Causalidad”.

Como nota relevante, el CIPRACEM considera que es factible mantener las comunicaciones inalámbricas con valores de dosis a la población que sean 100 o 1000 veces inferiores a las actuales.

En la misma línea, un tercer documento (Touzet & González, s. f.) hace un comparativo entre las normativas y principios vigentes entre la protección contra las radiaciones ionizantes y la protección contra las radiaciones no ionizantes.

Los autores plantean que las radiaciones ionizantes (RI) cuentan con un sistema reconocido, consensuado y con aplicaciones prácticas para la protección de las personas,

la población y el medio ambiente, lo que no es el caso de la protección contra la radiación no ionizante (NIR).

Lo anterior está asociado a que no se ha logrado un consenso científico internacional sobre los efectos de NIR, a pesar de que la bibliografía sobre la plausibilidad de los efectos cancerígenos y del medio ambiente de NIR es amplia, sumado a que la ICNIRP no es una organización gubernamental como el UNSCEAR y su nivel jerárquico es mucho menor.

Otro punto relevante son las doctrinas que dan base al actuar del ICRP frente al riesgo que representan las RI. Las doctrinas se basan en la responsabilidad, la obligación y la ética universal del cuidado de la salud del otro y del medio ambiente para las generaciones futuras. Para las NIR no existen paradigmas similares, a pesar de que La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) ha categorizado a todas las radiaciones, ionizantes y no ionizantes, como agentes cancerígenos y por lo tanto existe siempre un riesgo de cáncer, mayor o menor, de acuerdo con la magnitud de las dosis de radiación recibidas. Las radiaciones no ionizantes tienen incluso un poder cancerígeno mil veces superior al de las ionizantes, considerando los límites de dosis establecidos.

- e. Instituto nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en los lugares de trabajo

Esta guía técnica es realizada por el Instituto nacional de Seguridad y Salud en el trabajo de España, tiene por objetivo dar normas reglamentarias de las medidas preventivas, destinadas a garantizar la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos de 0-300 Ghz (INSST, 2019).

Las directrices se basan en las guías del ICNIRP y son muy detalladas en su desglose según VLE y niveles de acción por diversos rangos de frecuencias de exposición a Campos electromagnéticos y regiones corporales, por lo que se sugiere revisar este documento en caso de necesitar información detallada en esta materia. A continuación, se describe un resumen con las recomendaciones más relevantes expuestas en este documento, que pueden ser orientadoras en esta línea.

1. Recomendaciones para cumplir por los empleadores:
 - a. Los riesgos identificados por exposición laboral a CEM deben ser eliminados de su origen o reducirse a su nivel mínimo según las medidas de para controlar el riesgo desde la fuente.
 - b. Cuando los riesgos de exposición a CEM no puedan ser eliminados, los empleadores deben evaluar la exposición.
 - c. Si la exposición supera los niveles de exposición permitidas en las directrices el empleador deberá aplicar un plan de acción que incluya medidas técnicas y/u organizacionales para reducir los niveles de exposición a los límites que sean permisibles.
 - d. En caso de implementar un plan de acción, el empleador debe considerar los casos de trabajadores especialmente sensibles a exposición a CEM y en su caso evaluaciones específicas. Se incluyen como trabajadores especiales a mujeres embarazadas, trabajadores que declaren que llevan dispositivos médicos implantados activos o pasivos como por ejemplos marcapasos o bombas de insulina.
 - e. Las instalaciones laborales que puedan exponer a CEM a los trabajadores a exposiciones sobre los niveles de acción deberán estar señalizadas.
 - f. El empleador deberá considerar los niveles de emisión de campos electromagnéticos comunicados por los fabricantes de los equipos que serán

utilizados en el contexto laboral que dan conformidad a la normativa (española) sobre seguridad de los productos

- g. El empleador debe garantizar una adecuada vigilancia de los trabajadores en función con los riesgos inherentes al trabajo con exposición a CEM. La vigilancia será realizada por la organización

2. Recomendación de evaluar equipos y dispositivos que emiten CEM:

Según la norma UNE EN 50499 y la Guía Europea, los equipos que requieren medición para garantizar el cumplimiento de valores límites son los que se muestran en la imagen 3.

Imagen 3. Equipos que requieren medición de CEM INSST

Tipo de equipo	Observaciones
Electrolisis industrial	Ambos tipos de corriente: alterna (AC) y continua (DC)
Soldadura y fusión eléctricas	
Calentamiento por inducción	
Calentamiento dieléctrico	
Soldadura dieléctrica	
Soldadura por inducción	
Soldadura por resistencia manual	Por puntos o en cordón
Hornos de fundición por arco	
Hornos de fundición por inducción	
Magnetizadores y desmagnetizadores industriales	Se incluyen los borradores de cintas masivos
Sistemas de iluminación activados por RF y microondas	
Dispositivos de plasma de RF	Se incluye la deposición por vacío y deposición catódica (<i>sputtering</i>)
Diatermia clínica	Equipos que utilicen fuentes de emisión RF de alta potencia (> 100 mW) promediadas en el tiempo.
Sistema eléctrico para la detección de fisuras	
Radares	Para potencias superiores a 100 mW RMS (> 20 W pico) Por ejemplo: para uso militar, control de tráfico aéreo, meteorológico o largas distancias.
Transportes con tracción eléctrica: trenes y tranvías	
Equipos médicos que usen intencionadamente la aplicación de corrientes o que emitan una radiación que dé lugar a una exposición electromagnética	
Calentadores y secadores industriales por microondas	
Antenas de estaciones base	Solo si los trabajadores acceden al interior del perímetro de seguridad definido con respecto a los límites para el público general.
Emplazamientos y emisoras de radio y TV: LF, MF, VHF, UHF	Solo si los trabajadores acceden al interior del perímetro de seguridad definido con respecto a los límites para el público general.
Distribución y transmisión de electricidad (50 Hz) ⁶	Resulta pertinente la evaluación del campo magnético: <ul style="list-style-type: none"> • Toda instalación eléctrica (incluidos cableados, aparataje, transformadores, etc.) con una intensidad de fase nominal mayor de 100 A. • Todo circuito individual dentro de una instalación (incluidos cableados, aparataje, transformadores, etc.), con una corriente de fase nominal mayor de 100 A. • Todo circuito, (incluidos cableados, aparataje, transformadores, etc.), donde los conductores estén muy próximos entre sí y cuya corriente neta sea mayor de 100 A. Resulta pertinente la evaluación del campo eléctrico: • Cualquier conductor aéreo desnudo con una tensión nominal⁷ superior a 100 kV o líneas aéreas de más de 150 kV.

3. En relación con los trabajadores:
- a. Parte de las medidas preventivas debe ser informar a trabajadores y/o personas ajenas que ingresen a las instalaciones las zonas donde se superen los niveles de acción.
 - b. Actualmente no existen equipos de protección personal específicos para CEM, pero en la guía sugieren los siguientes:
 - Baja frecuencia (50 o 60 Hz): Existe ropa de protección conductora, certificada según la norma UNE - EN 60895, utilizada para la ejecución de trabajos en tensión por el método a potencial, cuya idoneidad se comprueba a través de su eficacia de apantallamiento del campo eléctrico y por la resistencia eléctrica del material o de los accesorios que la componen. Según la citada norma, esta ropa también puede proteger frente a los campos eléctricos existentes en la proximidad de las instalaciones hasta 800 kV en corriente alterna y de ± 600 kV en corriente continua.
 - Alta frecuencia (de 80 MHz a 1 GHz): para este rango de frecuencia se encuentra la norma alemana DIN 32780-100, que es la única norma técnica desarrollada en Europa relativa a ropa de protección contra los campos electromagnéticos para alta frecuencia.
 - c. Se le debe informar a los trabajadores sobre los resultados de la evaluación de riesgos, las medidas adoptadas en aplicación del decreto y las circunstancias en las que tienen derecho a una vigilancia de la salud. La información puede ser complementada con folletos, carteles y medios audiovisuales en los que se recojan, de forma clara, las medidas adoptadas.
 - d. Se debe capacitar a los trabajadores en materias preventivas centradas en su función a realizar y puesto de trabajo. En esta formación se debe abordar el significado de los valores límite, los posibles efectos indirectos y en la salud, las prácticas de trabajo seguras y las medidas preventivas a observar. Esta capacitación debe considerar que la información entregada debe ser fácilmente asimilada por los trabajadores en función de sus conocimientos.
 - e. Se debe informar que los CEM pueden ser de riesgo para aquellos trabajadores que tienen mayor sensibilidad como es el caso de embarazadas y con implantes activos y/o pasivos.
 - f. En la realización del decreto sobre exposición a CEM, se consideró la consulta y participación de los trabajadores.

2. Países y directrices de exposición ocupacional a CEM

a. Canadá y CEM: Exposición humana localizada a radiofrecuencia de 6 GHz-300 GHz

Este documento presenta recomendaciones frente a exposición localizada a radiofrecuencias entre 6GHz-300GHz de aparatos móviles que tuvieran contacto cercano o directo con el cuerpo humano, en un contexto generalizado y es considerado como parte del análisis de resultados de esta investigación porque es considerado en la página del Instituto de Seguridad de radiación de Canadá. Se revisaron los estándares del IEEE 2019 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y la de ICNIRP (2020). Sin embargo, el IEEE (2019) especifica un límite de densidad de potencia máxima para exposiciones pulsadas que parece ser excesivamente restrictivo (Health Canada, 2021). Por ende, las recomendaciones se realizan a partir del análisis comparativo con la guía de ICNIRP que se fundamentan en investigaciones realizadas a nivel local, que finalmente aportaran en los lineamientos de protección frente a esta exposición a radiofrecuencia. A partir de este análisis se concluye que las radiofrecuencias de 6GHz-300GHz pueden causar efectos adversos de la salud humana, lo que se pone en manifiesto con sensación de dolor-calor (ardor) y daño tisular. Sin embargo, sobre la base de una serie de suposiciones del peor de los casos integradas en el modelo computacional de Health Canada, se determinó que la aplicación de los límites ICNIRP se justifica con ciertas modificaciones con la finalidad de tener una gama más amplia de escenarios de exposición. Estas modificaciones restringirían aún más los límites máximos de temperatura tisular a niveles que están por debajo de los umbrales para la sensación de dolor por calor o daño tisular térmico. A continuación, se muestran las tablas de referencias, las que se extraen manteniendo la integridad de la información con la finalidad de evitar confusiones en el traspaso de información, por lo que se incluyen también las notas que se agregan en el documento como explicación de las tablas (Health Canada, 2021).

El Departamento de Defensa Nacional se ajustará a los requisitos de este código de seguridad, excepto en los casos en que considere que dicho cumplimiento tiene un efecto perjudicial en sus actividades de apoyo al entrenamiento y las operaciones de las Fuerzas Canadienses. Este código ha sido adoptado como la base científica para la certificación de equipos y las especificaciones de cumplimiento de exposición de campo de RF. No se aplica a la exposición deliberada para el tratamiento de pacientes por, o bajo la dirección de médicos (Health Canada, 2015).

A partir de estas correcciones de la guía de ICNIRP se proponen los siguientes límites a modo de recomendación:

Tabla 8. Restricciones básicas para la exposición local a campos electromagnéticos por encima de 6 GHz hasta 300 GHz

Exposure scenario	Exposure duration (t)	Local absorbed energy density [kJ/m ²]	Local absorbed power density [W/m ²]
Controlled Environment*	0 sec < t < 360 sec	36 [0.05+0.95(t/360)0.5]	n/a
	t ≥ 6 min	n/a	100
Uncontrolled Environment	0 sec < t < 360 sec	7.2 [0.05+0.95(t/360)0.5]	n/a
	t ≥ 6 min	n/a	20

Fuente: Elaboración propia a partir del código 6 de seguridad del Gobierno de Canadá

* El ambiente controlado hace referencia a la exposición ocupacional.

Notas Tabla 8:

- n/a" significa "no aplicable" y no es necesario tenerlo en cuenta al determinar el cumplimiento.
- "t" es el tiempo en segundos, y se deben cumplir las restricciones para todos los valores de t entre >0 s y <360 s, independientemente de las características temporales de la propia exposición.
- Las exposiciones de densidad de potencia absorbida local deben promediarse durante 6 min.
- La densidad de potencia absorbida local debe promediarse sobre un área de superficie cuadrada de 4 cm² del cuerpo. Por encima de 30 GHz, se impone una restricción adicional, de modo que la exposición máxima espacial se restringe al doble de la restricción de 4 cm².
- La densidad de energía local absorbida debe promediarse sobre un área de superficie cuadrada de 4 cm² del cuerpo. Por encima de 30 GHz, se impone una restricción adicional, de modo que la exposición pico espacial se restringe a $72[0,025+0,975(t/360)^{0,5}]$ kJ/m² para ambiente controlado y $14,4[0,025+0,975(t/360)^{0,5}]$ kJ/m² para exposición ambiental no controlada.
- Exposición de cualquier pulso, grupo de pulsos o subgrupo de pulsos en un tren, así como de la suma de las exposiciones (incluidos los campos electromagnéticos no pulsados), entregados en t s, donde t es la suma de todos los períodos en los que no hay -exposición cero, no debe superar estos niveles.

Tabla 9. Niveles de referencia para la exposición a campos electromagnéticos locales por encima de 6 GHz hasta 300 GHz

Exposure scenario	Exposure duration (t)	Local incident energy density [kJ/m ²]	Local incident power [W/m ²]
Controlled Environment	0 sec < t < 360 sec	$275/fG^{0.177}$ $0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$	X n/a
	t ≥ 6 min	n/a	$275/fG^{0.177}$
Uncontrolled Environment	0 sec < t < 360 sec	$55/fG^{0.177}$ $0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$	X n/a
	t ≥ 6 min	n/a	$55/fG^{0.177}$

Fuente: Elaboración propia a partir del código 6 de seguridad del Gobierno de Canadá

Notas Tabla 9:

- "n/a" significa "no aplicable" y no es necesario tenerlo en cuenta al determinar el cumplimiento
- fG es la frecuencia en GHz; t es el intervalo de tiempo en segundos, tal que la exposición de cualquier pulso, grupo de pulsos o subgrupo de pulsos en un tren, así como de la suma de las exposiciones (incluidos los campos electromagnéticos no pulsados), entregados en t segundos, donde t es la suma de todos los períodos en los que hay exposición distinta de cero, no debe superar estos niveles.
- La densidad de energía incidente se calculará a lo largo del tiempo t.
- La densidad de potencia incidente debe promediarse durante 6 min.
- Para frecuencias de >6 GHz a 300 GHz: (a) dentro de la zona de campo lejano, el cumplimiento se demuestra si la densidad de potencia incidente, promediada sobre un espacio de superficie corporal proyectada de 4 cm² cuadrados, no excede los valores del nivel de referencia anterior; la densidad de potencia incidente equivalente de onda plana puede sustituirse por la densidad de potencia incidente; (b) dentro de la zona radiactiva de campo cercano, el cumplimiento se demuestra si la densidad de potencia incidente, promediada sobre un espacio de superficie corporal proyectada de 4 cm² cuadrados, no excede los valores del nivel de

referencia anterior; y (c) dentro de la zona reactiva de campo cercano, los niveles de referencia no pueden usarse para determinar el cumplimiento, por lo que deben evaluarse las restricciones básicas.

- Para frecuencias de >30 GHz a 300 GHz, la exposición a la densidad de potencia incidente pico espacial no debe exceder el doble de las restricciones de 4 cm² cuadrados
- Para frecuencias de >30 GHz a 300 GHz, la exposición a la densidad de energía incidente pico espacial no debe exceder $275/fG0.177 \times 0.72[0.025+0.975(t/360)0.5]$ kJ/m² para ambiente controlado y $55/fG0.177 \times 0.72[0.025+0.975(t/360)0.5]$ kJ/m² para exposición ambiental no controlada.

b. Exposición Ocupacional a CEM en Grecia

En este documento los autores (Gourzoulidis et al., 2018), evalúan como ha sido el proceso de implementar la actualización de la directiva 2013/35/EU en Grecia, referente a la exposición a CEM de 0-300Ghz. Entre los trabajos expuestos a CEM evaluados por los autores de este artículo consideraron: Laboratorios de investigación con RM, Centrales eléctricas (hidroeléctricas, termoeléctricas y gas natural), subestaciones de alta tensión (150 kV/20 kV), ferrocarril (20 kV, 50 Hz), radiodifusión (TV digital, FM analógica y radio AM), la televisión y zonas de antenas, generador de plasma de RF, grúas puente, varias aplicaciones industriales y trabajos de oficina. De estos trabajos evaluados la RM presentó una sobreexposición de CEM, sin embargo, no sería de riesgo para el personal médico ya que no se acercan a la zona de radiación del equipo cuando está en uso, sin embargo, si pudiera ser de riesgo para el personal de mantenimiento. El resto de las evaluaciones se mantuvieron dentro de los límites ocupacionales permitidos. Según los resultados obtenidos, sugieren acciones correctivas a la implementación de la directiva como restricción de acceso a cualquier lugar identificado con sobreexposiciones y especialmente cerca de las partes de CEM activos, blindar en los dispositivos las partes expuestas que son emisoras de CEM, tomar las medidas preventivas necesarias al realizar las mantenciones de los equipos de CEM mientras estén activos, resguardar los efectos indirectos que pueden ser riesgosos e incluso fatales como en trabajadores con implantes o los objetos proyectiles en el caso de la RM. Por último, hacen énfasis en la necesidad de generar la difusión y capacitación sobre CEM a los empleadores y trabajadores.

c. Otros países y exposición ocupacional a CEM

Un documento publicado en 2018 hace una comparación de políticas internacionales y de la EU sobre campos electromagnéticos, específicamente campos de frecuencia de potencia (power frequency) que va de 50 Hz – 1000 Hz y radiofrecuencia (RF) de 3 kHz - 300 GHz. El documento reporta lo siguiente (Stam, 2018):

- Unión europea: como se mencionó en el punto anterior, la directiva de la UE establece requisitos mínimos, pero permite a los Estados miembros establecer límites más estrictos y permite aplicar un sistema de protección diferente pero equivalente o más específico para el personal militar y límites de exposición se superen temporalmente en determinadas condiciones para sectores o actividades específicos (Stam, 2018).
- RUSIA: cuenta con pautas de exposición a CEM desde los años setenta los cuales tiene diferentes rangos de frecuencia para los cual se considera la estimación de los efectos crónicos como a la exposición aguda y efectos biológicos, dependiendo de la interacción intensidad-tiempo (Rubtsova et al., 2018). La norma nacional establece límites para los campos magnéticos de frecuencia de potencia, que dependen de la duración de la exposición, los límites son más elevados que la EU.

Establecen un límite fijo para la exposición máxima a CEM de radiofrecuencia más alta que EU. El equivalente de los valores límite de exposición a RF para todo el cuerpo y para la exposición local de las extremidades son idénticos a los de la UE (Stam, 2018).

- China: Tiene un estándar nacional con límites de exposición ocupacional para agentes físicos en el lugar de trabajo con límites para CEM de radiofrecuencia con frecuencias de 100 kHz a 300 GHz. No cuenta con límites ocupacionales para los campos magnéticos de frecuencia de potencia (Stam, 2018).
- Australia: Existen regulaciones de protección radiológica solo aplicables a los empleados de la Commonwealth. Sus niveles de referencia y restricciones son los mismos que la ICNIRP. Por lo tanto, tienen la misma base que los límites de la directiva de la UE, pero se aplican a una gama más limitada de dispositivos. Para los empleados que no pertenecen al Commonwealth no existe una regulación oficial del gobierno, pero la Agencia Australiana para la Seguridad Nuclear y Protección contra la Radiación sobre las pautas de ICNIRP también se aplica a los trabajadores (Stam, 2018).
- India: no existen límites legalmente vinculantes para la exposición ocupacional a los CEM. La protección de los trabajadores estaría sujeta a la legislación general sobre salud y seguridad, como la Ley de fábricas (Stam, 2018).
- Suiza: El asegurador nacional de accidentes ha especificado que no pueden superarse los límites de exposición idénticos a los niveles de referencia ocupacionales de las directrices de la ICNIRP (Stam, 2018).
- OTAN: El tratado de normalización para la protección del personal militar de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) se refiere a un estándar del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) (Stam, 2018).
- España: Este país al ser parte de la Unión Europea incorpora al derecho español la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos), lo cual quedó respaldado por un decreto de ley. Lo relevante a mencionar es que el Ministerio del Trabajo y Economía Social ha dispuesto una herramienta en línea (aplicación) donde los trabajadores pueden determinar la necesidad de realizar una evaluación específica de CEM en el lugar de trabajo, según la normativa específica. La aplicación tiene como objetivo orientar al usuario sobre la necesidad de la realización de la evaluación de riesgos específica según lo indicado en el **Real Decreto 299/2016**, de 22 de julio, sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022).

3. Otros temas específicos en relación con directrices de exposición Ocupacional a CEM

a. Revisión sistemática sobre la evaluación de dispositivos que son fuentes de CEM y sus límites de exposición ocupacional según la directiva 2013/35/EU

En este artículo (Stam, 2022), se realiza una revisión sistemática en Scopus, Pubmed y buscadores web para la literatura gris, sobre dispositivos que exceden los límites máximos de exposición ocupacional a CEM de entre 0-300Ghz. En sus resultados identifican que en las siguientes ocupaciones se superaban los límites de exposición ocupacional: Soldadura de plástico con calentamiento de diatermia, en escáneres de seguridad e identificación por radiofrecuencia, dispositivos de plasma de radiofrecuencia (rubro de la estética) y telecomunicaciones. En el caso de la soldadura por diatermia la mayoría de las publicaciones eran rigurosas en datos como ciclo de trabajo, promedio de tiempo de exposición, lo cual es relevante al considerar que en casi todos los artículos encontrados en la revisión realizada, evidenciaron que los CEM evaluados se encontraban por sobre los límites de acción, por lo que los autores de este artículo sugieren como acción preventiva limitar los tiempos de exposición de los trabajadores que usen soldadura por radiofrecuencia de CEM, mejorar el blindaje del equipo, eliminar los objetos reflectantes del lugar de trabajo, tener una conexión a tierra efectiva y un adecuado mantenimiento.

La medida de control sugerida para los escáneres de seguridad se basa principalmente en aumentar la distancia del personal con el escáner y cuando deba estar cerca de este, limitar lo más posible los tiempos de exposición. En relación con los dispositivos de plasma de radiofrecuencia, comentan que se pueden exceder los límites de acción al estar cerca de la fuente, pero que las carcasas de blindaje si se encuentran en buen estado deberían proteger de una sobreexposición a CEM. Sin embargo, al momento de realizar el mantenimiento del equipo en su interior, se puede estar expuesto a 10 veces a los niveles de acción sugeridos por la directiva europea, por lo que se debe tomar medidas preventivas especialmente para los trabajadores de mantenimiento. Y en relación con las telecomunicaciones, se mantenían en los límites ocupacionales de exposición permitidos, sin embargo, se registraron algunos accidentes al momento de realizar mantenimiento en equipos y antenas que implicaron una sobreexposición de esos trabajadores a CEM.

Por otra parte en su discusión mencionan que es relevante que los límites de exposición y maneras de realizar la evaluación a CEM vaya avanzando a la par en relación a las nuevas tecnologías desarrolladas como son las nuevas aplicaciones desarrolladas para 5ta generación de telecomunicaciones(5G), las celdas pequeñas y redes locales que permiten la comunicación entre máquinas y el uso de campos pulsados para la banda ultra ancha, que si bien no implican exposiciones más altas, si vuelven más complejas las evaluaciones de exposición.

Por último, recomiendan realizar futuras investigaciones para el caso de automóviles y medios de transportes eléctricos ya que las investigaciones realizadas en esta línea no profundizan en la evaluación de una exposición ocupacional.

b. Exposición ocupacional a CEM de fuentes de equipos médicos

Este documento (Stam & Yamaguchi-Sekino, 2018) referencia la exposición ocupacional a CEM originados por equipos médicos en contextos laborales. En este trabajo se realizó una revisión sistemática para identificar fuentes de equipos médicos de exposición a CEM en contextos laborales y compararlas con las directrices de la Unión Europea (Tabla 10). Además, dan recomendaciones de prevención ante esta exposición.

Tabla 10. Niveles de acción para campos magnéticos en la Directiva 2013/35/UE

Frecuencia	Baja AL* B (μT)	Alta AL B (μT)	Limbs AL B (μT)	Thermal AL B (μT)
1≤f<8 Hz	2.0×10 ⁵ /f ²	3.0×10 ⁵ /f	9.0×10 ⁵ /f	—
8≤f<25 Hz	2.5×10 ⁴ /f	3.0×10 ⁵ /f	9.0×10 ⁵ /f	—
25≤f<300 Hz	1.0×10 ³	3.0×10 ⁵ /f	9.0×10 ⁵ /f	—
300 Hz≤f<3 kHz	3.0×10 ⁵ /f	3.0×10 ⁵ /f	9.0×10 ⁵ /f	—
3≤f≤100 kHz	1.0×10 ²	1.0×10 ²	3.0×10 ²	—
100 kHz≤f<10 MHz	1.0×10 ²	1.0×10 ²	3.0×10 ²	2.0×10 ⁶ /f
10≤f<400 MHz	—	—	—	0.2
400 MHz≤f<2 GHz	—	—	—	1.0×10 ⁻⁵ f ^{-0.5}
2≤f<300 GHz	—	—	—	4.5×10 ⁻¹

Fuente: Elaboración propia a partir del artículo (Stam & Yamaguchi-Sekino, 2018) exposición a radiofrecuencias según la Unión Europea.

*AL: Action level

Las fuentes médicas identificadas se clasificaron por rango de frecuencia y efectos biológicos de exposición a CEM de trabajadores, las que se exponen a continuación:

Tabla 11. Clasificación de dispositivos médicos por rango de frecuencia y potencial efecto biológico

Rango de frecuencia (Hz)	Potencial efecto biológico	Dispositivo médico
f=0	<i>Equilibrio alterado, flujo sanguíneo reducido, arritmia cardíaca</i>	Resonancia magnética (Campos estáticos)
0<f<10 ⁵	Vértigo, náuseas, sabor metálico, magnetofosfenos, estimulación nerviosa	Resonancia magnética (movimiento) Resonancia magnética (gradientes) Magnetoterapia Equipos de frecuencia industrial
10 ⁵ <f<10 ¹¹	Efecto térmico	Resonancia magnética (Radiofrecuencia) Diatermia Electrocirugía Hipertermia Imágenes de microondas Monitoreo de radares Terapia de Ultrasonido

Fuente: Elaboración propia a partir del artículo (Stam & Yamaguchi-Sekino, 2018) sobre límites de exposición a radiofrecuencias según la Unión Europea.

Entre los dispositivos médicos identificados, hacen un detallado análisis a la resonancia magnética (RM) que derivan a recomendaciones que se detallaran en ese apartado más adelante. En relación con la RM, concluyeron que los trabajadores expuestos pueden

sobrepasar los niveles de acción y límites de la UE.

Dentro de los dispositivos médicos de CEM de baja frecuencia, pero con alta fuerza de campo, son las bobinas usadas en la estimulación magnética transcraneana o en la estimulación de nervios periféricos, dispositivos que según sus modelos de análisis, durante su uso, la densidad de flujo magnético pueden superar los niveles de acción propuestos por la Unión Europea; Asimismo los campos eléctricos internos calculados en los trabajadores que operan estos dispositivos, superan los límites de exposición de la UE, alcanzando niveles que producen efectos en la salud.

Otros equipos médicos que operan entre 50 y 60 Hz como la magnetoterapia de baja frecuencia en fisioterapia, equipamiento dental, de laboratorios y cuidados intensivos se mantienen dentro de los límites de exposición propuestos por las directivas de la Unión Europea. Entre los dispositivos de más alta frecuencia (de los CEM de 0 a 300 GHz), en su revisión encontraron que las diatermias, hipertermias y electrocirugía pueden superar los límites de calentamiento en exposición laboral, según las directrices de la Unión Europea.

Las recomendaciones para controlar el riesgo ocupacional de exposición a CEM de dispositivos médicos para la mitigación son diversas. En relación con los equipos de RM, para los equipos de 2T se recomienda que los operadores disminuyan la velocidad al caminar cerca del escáner y evitar aproximarse al escáner cuando no es necesario. Para los equipos de 3T, se sugiere marcar en el piso 30 cm desde el extremo del escáner para demarcar el acceso restringido y así disminuir la exposición a campos estáticos. Por otra parte, se recomienda como medida de mitigación que en el diseño de la sala de RM, bajen el nivel del escáner a 1 m en relación con el piso, ya que podría reducir los efectos de la fuerza del campo eléctrico, en el sistema nervioso central y periférico del operador. Además, se sugiere el uso de una cama desmontable para el paciente y así disminuir el tiempo de exposición en la sala de RM y la optimización de la secuencia de pulsos para disminuir el tiempo de exposición sin disminuir la calidad de la imagen.

Para los otros dispositivos médicos se sugieren medidas preventivas en el uso de estos equipos, y así bajar la exposición del trabajador. Por ejemplo, para la estimulación magnética se recomienda utilizar un brazo mecánico flexible para montar la bobina y así tomar más distancia a esta fuente de CEM o usar un blindaje en la bobina hacia el lado del operador. Para las diatermias se recomienda el no uso de objetos metálicos y así evitar el reflejo de los campos y el blindaje de electrodos, cables de alimentación y conectores. En el caso de la electrocirugía se sugiere tener especial cuidado con el cable de alimentación, que sea lo más corto posible y suspenderlo para no apoyarlo sobre el cuerpo.

Para todos los dispositivos médicos, se recomienda en forma general mantener la distancia y reducir el tiempo de exposición.

En esta misma línea de exposición ocupacional a CEM de RM, en otro artículo, que fue parte de nuestros resultados, (Hartwig et al., 2022), los autores realizaron una revisión sistemática sobre CEM y RM, dando entre sus conclusiones una serie de recomendaciones para disminuir este riesgo ocupacional. Una de sus sugerencias es categorizar la exposición a CEM de los distintos trabajadores que cumplen labores en las mediciones del escáner de RM, considerando las categorías de tiempo de exposición, naturaleza de exposición y los procedimientos que realizan. En este objetivo pueden ser de utilidad las matrices de exposición laboral. Por otra parte, actualmente no existen protocolos estandarizados para medir la exposición laboral a CEM (Al menos en las directrices de la UE) por lo que recomiendan ser transparentes y claros en su realización para que los métodos utilizados sean replicables en el caso de presentarlos como artículos de estudios realizados en este ámbito. Otra recomendación realizada es que las capacitaciones realizadas a los

trabajadores que se exponen a RM, debe considerar un documento que les informe de todos los riesgos al exponerse a Campos electromagnéticos de escáner de resonancia magnética, de los resultados de sus mediciones a CEM, orientaciones de cómo detectar e informar los signos y síntomas de efectos adversos para la salud relacionados a esta exposición, las mejores prácticas para mitigar los riesgos y en qué condiciones tienen derecho a la vigilancia, sobre todo aquellos con situaciones particulares(fueron comentadas en el apartado de vigilancia).

Otro apartado relevante de este artículo es que hacen mención específica sobre el marco regulatorio a la exposición ocupacional a CEM de RM. En general las directrices creadas en este ámbito por las comisiones expertas sugieren estándares relacionados con la emisión de CEM de los equipos con la finalidad de que los fabricantes demuestren la seguridad de sus productos y estándares de evaluación de exposición. Por lo general la industria de RM usa los estándares específicos de la comisión electrónica internacional 60,601-2-33 para la limitación de exposición ocupacional y de los pacientes. La unión europea ha realizado su propia normativa de regulación para el uso clínico de RM, la que se alinea con estándares internacionales. Estados Unidos en su regulación tiene una normativa que se basa casi completamente en estándares técnicos, sin embargo, comentan que faltan regulaciones a nivel mundial para regular los entornos de los escáneres de RM tanto para usos clínicos como de investigación.

c. Sugerencias para la vigilancia de salud Obligatoria de trabajadores expuestos a CEM de la directiva de la Unión Europea

La vigilancia ocupacional a trabajadores que se exponen a CEM tiene como objetivo prevenir los efectos biofísicos directos conocidos causados por este riesgo laboral, como la estimulación de músculos, nervios u órganos sensoriales y corrientes en las extremidades, y los efectos térmicos, así como los efectos indirectos. En este documento italiano (Modenese & Gobba, 2021), se analiza la vigilancia de la salud de trabajadores expuestos a CEM, según las directrices de la UE y dan sugerencias para mejorar esta actividad. Las recomendaciones realizadas son las siguientes:

- Incorporar los efectos a largo plazo en la vigilancia ya que, si el objetivo principal es la prevención deberían ser considerados.
- Generar más investigación en relación con la eficacia de los programas de vigilancia para la prevención del riesgo de campos electromagnéticos en los trabajadores.
- Los programas de vigilancia deberían incluir un apartado especial para trabajadores que tengan condiciones patológicas o fisiológicas específicas que les cause mayor susceptibilidad a los CEM, como es el caso de los trabajadores con dispositivos médicos implantados, activos o pasivos, o el embarazo. Ya que una exposición relativamente baja de estos trabajadores a CEM puede inducir un riesgo para su salud.
- Los resultados colectivos de la vigilancia en salud se deben conservar adecuadamente, ya que pueden ser una fuente para desarrollar aún más el conocimiento científico de los posibles efectos relacionados con los campos electromagnéticos, sobre las condiciones de susceptibilidad particular al riesgo y, eventualmente generar nuevas recomendaciones sobre los límites exposición ocupacional.

d. Relación de causalidad entre la exposición ocupacional a CEM de teléfonos móviles y neuroma acústico

Un documento publicado en el año 2020 presenta un análisis de jurisprudencia italiana sobre una sentencia en la corte 904 la Corte di Appello de Turín del mismo año, donde se reconoció la existencia de una relación de causalidad entre la exposición a CEM producidos por teléfonos móviles y de un neuroma acústico, el que se califica como una enfermedad profesional de etiología multifactorial no reconocida por las instituciones de seguros.

El demandante, un empleado de una empresa de telecomunicación quien había hecho uso anormal (muchas horas al día) y durante un período prolongado (de 1995 a 2010) de los aparatos de telefonía. En este caso, para tomar una decisión de fallo, la ausencia de certeza científica absoluta sobre el peligro de los CEM (telefonía) a la salud, fue complementada por el razonamiento jurídico sobre la protección del trabajador donde un cierto grado de certeza probabilística de causalidad fue considerado suficiente para reconstruir el nexo causal entre la exposición a CEM y la aparición de la enfermedad para el reconocimiento de una pensión por enfermedad profesional al trabajador (Serrani & Tiraboschi, 2020).

VII. Recomendaciones para el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo

En relación con los resultados presentados, se realizan las siguientes recomendaciones para los actores involucrados en realizar una propuesta de directrices para la protección, de los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos (0-300Ghz)

- De acuerdo con los actuales avances tecnológicos, es cada vez más probable la exposición ocupacional a CEM, por lo que es prioritario realizar una clara regulación normativa de este riesgo laboral que permita la protección de la salud de los trabajadores.
- Se debe continuar el incentivo de estudios sobre los CEM en la salud de los trabajadores expuestos en el contexto nacional, lo que incluye mediciones de exposición, identificaciones de otros riesgos asociados o co-exposición y actualización continua de la bibliografía científica disponible. Es clave identificar los puestos de trabajo que están expuestos a CEM a nivel nacional y evaluar el riesgo inherente a cada función de los trabajadores.
- Para realizar evaluaciones de CEM, por lo que es necesario capacitar profesionales que puedan responder a este objetivo para contribuir con información que permita regular diferentes niveles de exposición, según la realidad nacional.
- Contar con equipos, herramientas, robots y dispositivos que cuenten con la identificación clara y precisa de los niveles de emisión de CEM, las recomendaciones de prevención ante la exposición a CEM y que incluyan las instrucciones para realizar el mantenimiento de los equipos de una forma segura.
- Uno de los derechos de los trabajadores es conocer los riesgos laborales a los que están expuestos en sus puestos laborales, por lo que es fundamental que se capacite a empleadores y trabajadores en la materia, además de difundir guías normativas sobre exposición a CEM.
- Se recomienda identificar los equipos específicos que evalúen la emisión de CEM en sus trabajos. En los resultados de este estudio se incluye una tabla de recomendación al respecto según el INSST de España.
- Algunos de los equipos médicos que exceden los niveles de exposición ocupacional a CEM permisibles, según la literatura, son los equipos de fisioterapia, centros de estética y electrocirugía en Chile, por lo que esta información debería ser parte de las materias a fiscalizar de las SEREMIS de salud.
- En las directrices de la unión europea, la vigilancia por exposición ocupacional a CEM ya es parte de las estrategias de la prevención y control de este riesgo laboral, por lo que se recomienda que se incorpore en las directrices de seguridad y salud laboral, por ser una herramienta esencial en materias de salud pública para tener información sobre un problema de salud determinado y poder realizar políticas públicas en la materia.
- En los resultados de este estudio, hay recomendaciones específicas para empleadores y trabajadores en materia de exposición ocupacional a CEM, por lo que se sugiere considerar lo pertinente al contexto laboral nacional.
- En relación con las señalizaciones de exposición a CEM en contextos laborales, son

relevantes al considerar que la radiación electromagnética es inversamente proporcional a la distancia.

- Es fundamental que el empleador identifique e informe los riesgos a los trabajadores que puedan ser más susceptibles a la exposición de CEM, como lo son personas embarazadas o con implantes activos o pasivos, ya que es un factor que aumenta el riesgo de su salud, por lo que se deben hacer acciones preventivas necesarias para cada caso.

VIII. Discusión y Conclusiones

a. Discusión

De los estudios que indicaban resultados significativos, varios concordaban que más que la exposición a altos niveles de CEM, los trabajadores que presentaban alteraciones en su salud eran los que habían presentado exposición de forma crónica a CEM.

Por otra parte, en diversos estudios se comentaba que los trabajadores expuestos a CEM presentaban co y multi exposiciones a otros factores de riesgo laboral como físicos, químicos y biológicos, los que pueden interactuar agravando el riesgo en su salud, aspecto que es relevante a considerar para los países que en su legislación reconoce patologías laborales con principios de uncausalidad, como es el caso de Chile, lo que dificultaría en un futuro reconocer patologías por exposición a CEM.

En los últimos 10 años han existido avances en la cantidad y calidad de publicaciones, lo que en el caso del objetivo dos fue decisivo para la inclusión de documentos, ya que las actualizaciones de directrices se realizan cada cierto tiempo, por lo que en este estudio se incluyen las versiones más actualizadas de los documentos para resguardar que la información entregada en esta revisión son las actualizaciones más vigentes que existen a nivel internacional y de referentes en la materia.

De los resultados encontrados, los que, si identificaron efectos en salud asociados a la exposición a algún tipo de campo electromagnéticos, referían efectos hematológicos, alteración de neurotransmisores, hormonas, funciones cardiovasculares, estrés oxidativo y daños en el ADN, síndrome de burnout, depresión y cáncer (edad de diagnóstico), por lo que es muy relevante a futuro incentivar estudios que continúen indagando en esta línea de investigación, considerando la realidad laboral nacional, para asegurar la protección y seguridad de los trabajadores expuestos a CEM.

b. Conclusión

Este trabajo planteó dos objetivos específicos. Con respecto al primero, que es **identificar en la evidencia científica disponible las enfermedades profesionales asociadas a la exposición a campos electromagnéticos**, se identificaron 34 estudios epidemiológicos.

Lo temas efectos en salud más recurrentes en eso 34 estudios fueron en las líneas de salud metal, alteraciones del sueño y neurocomportamiento (4), sistema cardiovascular (4), cáncer (4) neurotransmisores y estrés oxidativo (4). De los 34 estudios, 11 no encontraron ninguna asociación entre un efecto en salud y exposición a CEM, 12 documentos si identificaron efectos en salud asociados a la exposición, pero estos efectos fueron significativos bajo ciertas condiciones, por ejemplo, solo en un rango de edad específico, el efecto solo se asocia al campo magnético y no eléctrico, etc. Finalmente, otros 11 documentos sí identificaron efectos en salud asociados a la exposición a algún tipo de campo electromagnético. En este sentido es relevante mencionar que esto resultados son descriptivos con respecto a los que hay disponible en la literatura académica en los últimos 10 años y no establece una relación causal. Hay que recordar que, para establecer relaciones causales en epidemiología y salud pública, se requiere cumplir con un conjunto de principios o criterios de causalidad, conocidos como criterios de Bradford Hill.

Existen características que la literatura académica ha identificado y es importante resaltar:

- Se sabe que hay grupos ocupacionales con una exposición notablemente crónica a los CEM que son los trabajadores de las centrales eléctricas, empresas de

metales (p.ej. aluminio) y soldadores.

- Aún no se ha logrado establecer consensos claros sobre la asociación entre los efectos en salud y la exposición a los CEM, esto en parte por la complejidad que representa medirlos y estudiarlos de forma aislado del resto de los agentes físicos y biológicos que existen en los ambientes laborales. Sin embargo, hay que hacer énfasis en que típicamente los trabajadores expuestos a CEM presentan co-exposiciones o multi-exposiciones a los agentes físico y biológicos lo que supone un riesgo o la posibilidad de que los diversos agentes interactúen agravando el riesgo en la salud de los trabajadores expuestos.
- Los trabajadores que están expuestos a los CEM, además se exponen a lo del día cotidiano de la población general, lo que aumenta su tiempo de exposición.
- La hoja informativa 2321 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda investigaciones adicionales para identificar lagunas en el conocimiento sobre los posibles efectos en la salud de la exposición a CEM. Por ejemplo, se debe considerar la complejidad y el costo de realizar estudios epidemiológicos de largo plazo para medir exposición crónica/dosis (p.ej > 10 años) así como seguimiento a los hijos de los trabajadores expuesto, desde la gestación hasta el desarrollo infantil.

Con respecto al segundo objetivo, que es **explorar los lineamientos existentes en la comunidad internacional para el control del riesgo ocupacional por exposición a campos electromagnéticos** existen dos claras tendencias en los documentos encontrados: 1) A priorizar lineamientos sobre la exposición a la radiofrecuencia que son CEM de mayor intensidad y 2) Los países que han decidido tener lineamientos en el tema, toman como referente los lineamientos propuestos por el ICNIRP y los ajustan localmente, lo cual cumple en cierta medida el objetivo de la ICNIRP. Sin embargo, los lineamientos existentes son en su mayoría recomendaciones y no tienen obligatoriedad legal. Además, que en varios países los CEM son un riesgo poco visibilizados en los contextos de salud ocupacional, en comparación con otros temas y la mayoría de las veces los riesgos sobre exposición a CEM son absolutamente ignorados por las personas y los trabajadores, lo que abre una gran brecha a futuro en la salud de los trabajadores expuestos, al considerar que el actual avance de tecnologías implica tener cada vez más relación con dispositivos electrónicos (herramientas, maquinarias, robots, radiocomunicación) en los puestos laborales, por lo que es fundamental que las directrices a nivel mundial y local de Salud Ocupacional actualicen las normativas sobre exposición ocupacional a CEM en paralelo a los progresos tecnológicos.

Si bien no se han establecido consensos respecto a la evidencia científica de daños a la salud por exposición a CEM, se debe recordar que, para realizar propuestas en torno a la protección de la salud de la población, se deben tomar en cuenta otras consideraciones importantes como las consideraciones éticas y valoraciones jurídicas ante *la ausencia de certeza* del no daño y la presencia de sospechas y dudas que luego abren el camino a lo probable y posible. Ante esta posibilidad los trabajadores y empleadores deben estar informados sobre los riesgos asociados con campos electromagnéticos y conocer las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, dispositivos y herramientas que sean fuentes de CEM para tomar las acciones preventivas que sean pertinentes a la exposición. Además, los trabajadores que puedan estar más susceptibles a CEM, como los que portan implantes médicos pasivos y/o activos y mujeres embarazadas, deben ser informados sobre la exposición a CEM, ya que son de mayor riesgo para su salud.

En Chile en el año 2023 se comenzó a trabajar en la Actualización del Decreto supremo 594, que aprueba el Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, por lo que es una oportunidad para que se ingresen directrices sobre exposición a CEM. En este documento de actualización del DS 594, el punto 7.5

habla de los campos estáticos y propone algunos artículos nuevos que hacen una distinción entre los campos magnéticos y eléctricos con valores máximos para cada uno y otros para las radiaciones de radiofrecuencia. Sería pertinente considerar también un reglamento para que los equipos o dispositivos importados que sean fuentes de CEM detallen claramente los niveles de emisión de CEM cuando están activos, ya que se facilitaría establecer el riesgo de exposición y las acciones preventivas necesarias en los puestos de trabajo. Por otra parte, el señalar en los ambientes laborales los niveles de exposición a CEM ha sido identificado como una buena práctica de prevención en la literatura científica.

Finalmente, para Chile sería relevante establecer diálogos interdisciplinarios entre la comunidad científica-académica, la autoridad sanitaria-laboral, la ciencia jurídica, los comités de ética, la industria pública y privada y trabajadores con el fin de realizar propuesta en torno a un marco coherente de protección contra las radiaciones de CEM en toda la extensión del espectro.

IX. Anexos

Anexo 1: Terminología usada para describir la exposición a campos electromagnéticos y sus magnitudes físicas (Se detallan literalmente como se describen en la guía técnica del INSST):

- **Intensidad de campo eléctrico* (E):** magnitud vectorial que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios dividido por metro (V/m). *Es preciso distinguir entre: «campo eléctrico ambiental» y «campo eléctrico in situ», inducido en el interior del organismo como resultado de la exposición al campo eléctrico ambiental.
- **Intensidad de campo magnético (H):** magnitud vectorial que, junto con la densidad de flujo magnético, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios dividido por metro (A/m).
- **Densidad de flujo o inducción magnéticos (B):** magnitud vectorial definida en términos de fuerza ejercida sobre cargas en movimiento; se expresa en teslas (T). En el espacio libre y en la materia biológica, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden utilizar indiferentemente según la equivalencia: $B = \mu_0 H$
- **Densidad de potencia (S):** Es el cociente de la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de esa superficie. Se expresa en vatios dividido por metro cuadrado (W/m²). Es una magnitud apropiada para expresar la exposición a frecuencias muy altas, donde la profundidad de penetración del campo en el cuerpo es baja.
- **Corriente en las extremidades (I_L):** corriente en las extremidades de una persona expuesta a campos electromagnéticos dentro del intervalo de frecuencias comprendido entre 10 MHz y 110 MHz como resultado del contacto con un objeto en un campo electromagnético, o el flujo de las corrientes capacitivas inducidas en un cuerpo expuesto. Se expresa en amperios (A).
- **Corriente de contacto (I_C):** corriente que aparece cuando una persona entra en contacto con un objeto en un campo electromagnético. Se expresa en amperios (A). Se produce una corriente de contacto en estado estacionario cuando una persona está en contacto continuo con un objeto en un campo electromagnético. En el proceso del establecimiento de dicho contacto, puede producirse una descarga en forma de chispas con corrientes transitorias.
- **Carga eléctrica (Q):** magnitud utilizada para medir las descargas en forma de chispa; se expresa en culombios (C).
- **Absorción específica de energía (SA):** es la energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico; se expresa en julios dividido por kilogramo (J/kg).
- **Tasa de absorción específica de energía (SAR)** sobre el cuerpo entero o sobre una parte localizada del mismo: es la tasa de energía que es absorbida por unidad de masa de tejido corporal. Se expresa en vatios dividido por kilogramo (W/kg). El

SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a radiofrecuencias. Junto al SAR medio de cuerpo entero, los valores SAR locales son necesarios para evaluar y limitar la excesiva acumulación de energía localizada en pequeñas partes del cuerpo como consecuencia de unas condiciones especiales de exposición. Como ejemplo: la exposición de una persona a radiofrecuencias de pocos MHz (por ejemplo, de calentadores dieléctricos).

De estas magnitudes, las que pueden medirse directamente son: la intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H), la densidad de flujo magnético (B), la densidad de potencia (S), la corriente de contacto (I_C) y la corriente en las extremidades (I_L).

Imagen 4. Principales Magnitudes relacionadas con CEM

Magnitud	Símbolo	Unidad	Símbolo	Medible con sonda
Campo eléctrico <i>in situ</i>	E ₀	voltios por metro	V/m	
Campo eléctrico	E	voltios por metro	V/m	X
Campo magnético	H	amperios por metro	A/m	X
Inducción magnética	B	teslas	T	X
Densidad de potencia	S	watios por metro cuadrado	W/m ²	X
Corriente de contacto	I _C	amperios	A	
Corriente en las extremidades	I _L	amperios	A	
Tasa de absorción específica de energía	SAR	watios por kilogramo	W/kg	
Absorción específica	SA	julios por kilogramo	J/kg	

Anexo 2: Glosario

SIGLA	Definición
ADN	ácido desoxirribonucleico
ARN	ácido ribonucleico
CEM	Campos Electromagnéticos
CEM-BF	Campos Electromagnéticos de Baja frecuencia
CEM-EBF	Campos Electromagnéticos de extremada baja frecuencia
CEM-RF	Campos electromagnéticos de radiofrecuencia
CIPRACEM	Comisión Interamericana de Protección Radiológica de Campos Electromagnéticos
ECG	Electrocardiograma
EEUU	Estados Unidos
EF	Electricfield
ELA	esclerosis Lateral Amiotrófica
FCC	Comisión Federal de comunicaciones
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos
FRALC	Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe
Ghz	Giga Hertz
HSE	Hipersensibilidad electromagnética
Hz	Hertz
IARC	Agencia Internacional de Investigación del Cáncer
ICNIRP	Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INSST	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (España)
IRPA	Asociación Internacional de Protección Radiológica
JSOH	Japan Society for Occupational Health
Kv	Kilovoltio
m	metro
MDA	concentraciones de plasma malondialdehyde
MF	Magnetic field
NIR	Radiación no ionizante
OEL-C	Límite máximo de exposición ocupacional
OEL-M	límite promedio de exposición ocupacional
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMS	Organización Mundial de la Salud
OR	odds ratio
RBC	Glóbulos Rojos
RF	Radiofrecuencia
RI	Radiaciones Ionizantes
RM	Resonancia Magnética
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
T	Tesla
TME	Trastornos Musculo Esqueléticos
UE	Unión Europea
UNSCEAR	Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas
VLE	Valores Límites de exposición
WPT	transferencia de energía inalámbrica