

Estado del arte de los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones

Keydhy Camila Villarreal Romero

Proyecto de Grado para optar por el título de Ingeniero Industrial

Director

Juan Camilo Lésmez Peralta

Magister en Gerencia de Negocios

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

A *Dios*, quien me acompaña y protege todos los días de mi vida.

A mi madre, *Stella Isabel Romero Castro*, quien con su inmenso amor me trajo a este mundo. No me alcanza la vida para devolverte tanta luz.

A mi hermana, *Marian Isabella Villarreal Romero*, el centro de mi vida y por quien me esfuerzo todos los días para ser mejor.

A mis abuelos, *Bernarda Castro* y *Diógenes Romero*, gracias por ser mi roca durante toda la vida, mi amor por ustedes es infinito.

A *Jairo Andrés Hoyos Celis*, mi compañero de vida y a quien agradezco haber acompañado mis pasos con amor y compromiso.

Al ingeniero *Juan Camilo Lésmez Peralta*, gracias por ser fuente de inspiración y motivación en este proceso.

A la *Universidad Industrial de Santander*, por darme la oportunidad de pertenecer a esta comunidad que llena de tanto orgullo.

A mis *amigas, docentes* y todas aquellas personas que me acompañaron de cerca día a día, los llevo en mi corazón.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado especialmente a

Mi madre, *Stella Isabel Romero Castro*, por quien luché todos los días para llenar de orgullo y amor. Tu esfuerzo y apoyo se ve reflejado en lo que soy hoy.

A mi padre, *Mario Fernando Villarreal Rodríguez*, quien desde el cielo sigo sintiendo todos los días a mi lado.

A mi hermana, *Marian Isabella Villarreal Romero*, como ejemplo que los sueños sí se cumplen y que la vida tiene grandes cosas preparadas para nosotras, juntas.

A mis abuelos, *Bernarda Castro y Diógenes Romero*, mis segundos padres. No podría haber logrado esto sin ustedes.

Tabla de Contenido

Introducción	13
1. Descripción del proyecto	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
2. Objetivos	21
2.1 Objetivo general.....	21
2.2 Objetivos específicos	21
3. Marco referencial del proyecto	22
3.1 Antecedentes históricos	22
3.2 Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo	26
3.3 Riesgo	27
3.3.1 Factores de riesgo.	27
3.3.2 Clasificación de los factores de riesgo.....	27
3.4 Enfermedad Profesional o Laboral: Ley 1562 del 2012	29
3.5 Factor de riesgo laboral: Agentes Etiológicos	29
3.5.1 Agentes físicos	30
3.6 Radiación	30
3.6.1 Radiación no ionizante (RNI)	31
3.6.2 Radiación ultravioleta	31
3.6.3 Radiación infrarroja	32
3.6.4 Luz y radiación infrarroja	32
3.6.5 Láseres	33
3.7 Campos Electromagnéticos.....	34

3.7.1 Clasificación de los campos electromagnéticos.....	34
3.8 Reflexión, Absorción y Transmisión	35
3.9 Efectos biológicos causados por exposición a campos electromagnéticos: baja y alta frecuencia.....	36
3.9.1 Efectos y mecanismos de los campos de baja frecuencia (ELF)	38
3.9.2 Efectos y mecanismos de los campos de alta frecuencia	39
3.10 Límites de exposición a radiación no ionizante	42
3.10.1 Límites de exposición según la ICNIRP.....	43
3.10.2 Límites de exposición según la OIT	47
4. Marco metodológico	48
4.1 Revisión sistemática.....	49
4.1.1 Planeación de la revisión	50
4.1.1 Búsqueda del instrumento de evaluación para la investigación.....	54
4.1.2 Desarrollo del protocolo de revisión.....	56
4.1.3 Ejecución: Identificación de la investigación	58
4.1.4 Reporte y difusión.....	69
4.2 Análisis y clasificación de la información como resultado de la revisión	69
5. Estado del arte de los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones.....	70
5.1 Análisis bibliométrico.....	70
5.1.1 Análisis de publicaciones por año.....	71
5.1.2 Análisis de publicaciones por país	72
5.1.3 Análisis de publicaciones por revistas	73
5.1.4 Análisis de publicaciones por autor	75
5.1.5 Análisis de publicaciones por área temática	76
5.1.6 Análisis por palabras más usadas.....	77
5.2 Revisión de la literatura	79
5.2.1 Subgrupo 1: Exposición ocupacional a campos electromagnéticos	84

5.2.2 Subgrupo 2: Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos	90
5.2.3 Subgrupo 3: Relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones	115
6. Difusión de los resultados de la investigación	120
7. Conclusiones	121
8. Recomendaciones	125
Referencias bibliográficas.....	127

Tabla de Tablas

Tabla 1. Cumplimiento de objetivos	15
Tabla 2. Restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos alternos	44
Tabla 3. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos .	45
Tabla 4. Restricciones básicas para la densidad de potencia S (W/m ²)	46
Tabla 5. Límites de exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos	47
Tabla 6. Palabras Claves	54
Tabla 7. Primera ecuación de búsqueda.....	55
Tabla 8. Criterios de inclusión, exclusión y calidad	57
Tabla 9. Ecuación de búsqueda final	58
Tabla 10. Proceso de selección de artículos finales	59
Tabla 11. 42 artículos seleccionados después de la aplicación de los criterios de calidad	61
Tabla 12. Palabras más utilizadas	78
Tabla 13. Clasificación de artículos - Revisión de la literatura	80
Tabla 14. Subgrupo Exposición ocupacional a campos electromagnéticos	85
Tabla 15. Subgrupo Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición	91
Tabla 16. Clasificación de enfermedades según el artículo mencionado	95
Tabla 17. Estudios sobre la actividad genotóxica de los CEM.....	102
Tabla 18. Estudios sobre la actividad genotóxica de los CEM.....	103
Tabla 19. Exposición residencial a campos de frecuencia industrial y riesgo relativo (RR).....	104
Tabla 20. Efectos en la salud de población expuesta a campos electromagnéticos generados por radiación no ionizante	109

Tabla 21. Subgrupo Relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones
..... 115

Tabla 22. Estructura del artículo..... 120

Tabla de Figuras

Figura 1. Matriz clasificación de riesgo.....	28
Figura 2. Espectro de radiaciones ionizantes y no ionizantes.....	42
Figura 3. Metodología de la investigación.....	48
Figura 4. Revisión de literatura, modelo de investigación propuesto.....	49
Figura 5. Análisis de publicaciones por año	71
Figura 6. Análisis de publicaciones por país	72
Figura 7. Diagrama de relaciones producción científica entre países.....	73
Figura 8. Diagrama de relaciones producción científica entre revistas	74
Figura 9. Los 10 autores con mayor participación investigativa	75
Figura 10. Diagrama de relaciones producción científica por autor.....	76
Figura 11. Análisis de artículos por área temática.....	77
Figura 12. Diagrama de relacionamiento entre subgrupos de clasificación	84
Figura 13. Nube de palabras subgrupo 1	87
Figura 14. Nube de palabras subgrupo 2	94
Figura 15. Enfermedades más relevantes.....	100
Figura 16. Distribución de enfermedades con mayor relevancia dentro del subgrupo 2.....	100
Figura 17. Nube de palabras subgrupo 3	118

Lista de apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A. Análisis de valores para los niveles de referencia de exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos según la ICNIRP.

Apéndice B. Matriz primaria para el análisis de la revisión bibliográfica y creación de ecuación de búsqueda.

Apéndice C. Artículo Científico.

Resumen

Título: Estado del arte de los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones^{1*}

Autor: Keydhy Camila Villarreal Romero**

Palabras Claves: Campos Electromagnéticos, Radiación no ionizante, Riesgo, Exposición Ocupacional, Telecomunicaciones.

Descripción:

Los campos electromagnéticos están presentes en todos los ambientes donde se utiliza energía eléctrica. Toda la población se encuentra expuesta de alguna manera a campos electromagnéticos, especialmente aquellas personas cuya área de trabajo está dentro del sector de las telecomunicaciones. Líneas de alta y media tensión, fuentes artificiales de generación de energía, redes de transmisión y distribución de energía, antenas, torres eléctricas, entre otras; son algunas de las principales fuentes de radiación no ionizante a las que día a día miles de trabajadores alrededor del mundo se encuentran expuestos. La radiación no ionizante puede llegar a tener efectos biológicos nocivos en las personas expuestas dependiendo de la frecuencia de emisión y la cantidad de energía recibida. El presente trabajo desarrolla una revisión literaria con respecto a la relación existente entre la exposición ocupacional a campos electromagnéticos y el daño sobre la salud de los trabajadores del sector de las telecomunicaciones. Para ello, se logra a partir de un análisis bibliométrico y un despliegue estructurado de hallazgos relevantes en dicha revisión. Esta investigación pretende exponer el conocimiento producido como primer paso a líneas futuras de investigación y prevenir enfermedades laborales con dicha exposición.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director Juan Camilo Lésmez Peralta. Magíster Gerencia de Negocios.

Abstract

Title: State of the art of adverse health effects from occupational exposure to electromagnetic fields on telecommunication workers. ^{2*}

Author: Keydhy Camila Villarreal Romero**

Keywords: Electromagnetic Fields, Non-Ionizing Radiation, Risk, Occupational Exposure, Telecommunications.

Description:

Electromagnetic fields are present in all environments where electrical energy is used. The entire population is exposed in some way to electromagnetic fields, especially those people whose work area is within the telecommunications sector. High and medium voltage lines, artificial sources of energy generation, energy transmission and distribution networks, antennas, electric towers, among others, are some of the main sources of non-ionizing radiation to which thousands of workers around the world are exposed every day. Non-ionizing radiation can have harmful biological effects on exposed persons depending on the frequency of emission and the amount of energy received. This paper develops a literature review regarding the relationship between occupational exposure to electromagnetic fields and the damage on the health of workers in the telecommunications sector. This is achieved through a bibliometric analysis and a structured deployment of relevant findings in this review. This research aims to expose the knowledge produced as a first step to future lines of research and to prevent occupational diseases with such exposure.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies. Director Juan Camilo Lésmez Peralta. Master in Business Management.

Introducción

El panorama del sector de las telecomunicaciones en Colombia es muy prometedor, según Andrés Langebaek, director de Estudios Económicos del Grupo Bolívar, indica que el PIB en Colombia creció entre 3% y 3,5% para el 2019. El sector de las telecomunicaciones es considerado como uno de los eslabones claves para el desarrollo y crecimiento tecnológico en Colombia y su impacto en la economía nacional apunta a ser muy positiva. Según el Banco Finandina (2019) las tendencias a partir del 2020 para el futuro de las telecomunicaciones revelan un horizonte promisorio para el crecimiento del segmento, debido a la necesidad de cobertura de servicios, despliegue de redes, profundización en la demanda y consumo de servicios.

El creciente desarrollo de la industria y la alta demanda de empleo que esta genera ha provocado un riguroso control en normativa asociada al bienestar y salud de todos sus colaboradores y población en general. Las acciones y actividades que sitúan a las personas en riesgo han estado en toda la historia humana; como resultado siempre ha existido la necesidad de garantizar y proteger la vida en cualquier acción que se tome; por tanto, los hechos en la vida laboral tienen relevancia, ya que se permanece aproximadamente 48 horas como límite máximo, establecido para Colombia, Código Sustantivo del trabajo. (1990). Ley 50 de 1990.

La radiación es una forma de transmisión de energía, que en muchos casos es imperceptible sensorialmente y puede llegar a considerarse un contaminante físico. Dicho esto, es posible partir de una problemática que no solo afecta a los trabajadores directos del sector de las telecomunicaciones, sino a toda persona expuesta a objetos o lugares potencialmente peligrosos por emisión de radiación no ionizante, y que comúnmente son considerados inofensivos. Al interactuar con la materia, la radiación puede generar cambios en la misma, produciendo, por

ejemplo, un aumento de la temperatura. Cuando la materia es el cuerpo humano, estas alteraciones pueden llegar a ocasionar diferentes efectos para la salud. Sin embargo, la pregunta sigue siendo la misma ¿Son peligrosos los campos electromagnéticos para la salud de los seres vivos?

Contestar a este interrogativo es el motivo que justifica la elaboración de esta investigación; se espera que el contenido expuesto a continuación, contribuya a despejar ciertas incertidumbres sobre los posibles riesgos para la salud derivados a la exposición a campos electromagnéticos (CEM), especialmente de trabajadores vinculados al sector de las telecomunicaciones. Para esto, se busca abordar información científica sobre las fuentes más comunes de exposición a radiación no ionizante y los límites a los que legalmente se les está permitido operar, cumpliendo con las normas establecidas por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V (ICNIRP). Adicional a esto, es indispensable realizar una inmersión teórica en la evidencia científica presentada hasta el momento, de posibles situaciones que desencadenan en enfermedades de tipo laboral, accidentes o incluso la muerte de seres humanos.

Finalmente, esta investigación pretende reunir las principales características de los CEM, nociones y conceptos de la radiación electromagnética no ionizante, fuentes de exposición, evidencia científica que relaciona los CEM con los posibles efectos de la población expuesta a: líneas de alta tensión, radares, calentadores dieléctricos, entre otros.

Cumplimiento de objetivos

Tabla 1.

Cumplimiento de objetivos.

Objetivos	Cumplimiento
Efectuar una inmersión teórica para la conceptualización de la temática a estudiar. Literatura gris y sitios web especializados.	Capítulo 3
Realizar una revisión bibliográfica de documentos y artículos científicos relacionados con efectos adversos sobre la salud por exposición a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones.	Capítulo 5
Clasificar y categorizar la información obtenida en la revisión bibliográfica para determinar los efectos adversos que mayor incidencia presentaron en la población objeto de estudio.	Capítulo 5
Elaborar un artículo de carácter publicable a partir de los resultados obtenidos.	Capítulo 6

1. Descripción del proyecto

El proyecto Estado del arte de los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones se realiza bajo la modalidad de trabajo de investigación, consiste en una revisión de literatura que permite recopilar investigaciones científicas que contribuyen significativamente al objeto investigativo en cuestión, fortaleciendo esta área de conocimiento.

1.1 Planteamiento del problema

¿Cuáles son los posibles efectos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos?

Teniendo en cuenta que, los seres vivos están expuestos a niveles variables de campos electromagnéticos de radiofrecuencias que dependen de aspectos como la distancia de las antenas emisoras, la presencia de reemisores pasivos capaces de reflejar las ondas (estructuras metálicas) o amortiguarlas (edificios), así como el número de comunicaciones de la estación y su posición con relación a la orientación de la antena (Santini et al; 2000), se convierten en factores que incentivan el análisis de estudios ocupacionales referentes a los efectos adversos sobre la salud en trabajadores de este sector.

La respuesta de un sistema biológico a un campo electromagnético depende de las propiedades intrínsecas del sistema, de las características del campo externo incidente (especialmente de su potencia radiante y su frecuencia) y del medio en el cual se produce el

fenómeno (Lin, 1994). Las radiaciones electromagnéticas transmiten pequeños paquetes de energía denominados fotones (Aguilar, 2001). Las radiofrecuencias ocupan el rango entre 10 MHz. y 300 GHz. de frecuencia. Las antenas de telefonía móvil lanzan ondas electromagnéticas con una frecuencia portadora de 900 MHz. para el sistema analógico y de 900 MHz y 1800 MHz para el sistema digital, generalmente conocidas como microondas (rango aproximado entre 1GHz. y 300 GHz.), pulsadas en frecuencias de audio. Las microondas llevan la información sonora por medio de ráfagas o pulsos de corta duración con pequeñas modulaciones de su frecuencia que se transfieren entre los teléfonos móviles y las estaciones base (Balmori, 2004). Uno de los efectos más conocidos de las microondas es su capacidad para poner en resonancia las moléculas de agua (dipolos) y otros componentes de los alimentos, provocando una elevación de su temperatura. El grado de calentamiento resultante depende de la intensidad de la radiación y del tiempo de exposición (Balmori, 2004). Algunos órganos o sistemas como el cerebro, el corazón y el sistema nervioso, son especialmente sensibles a estas inducciones.

En un estudio aplicado a 223.292 trabajadores de compañías eléctricas de Francia y Canadá (Therriault y col. 1994) se evaluaron 29 tipos de neoplasias y se encontró un aumento del riesgo en un tipo de leucemia (mielocítica aguda) y un tipo frecuente de cáncer de cerebro (Gil-loyzaga & Úbeda Maeso, 2001). Otros estudios, mencionan enfermedades como el cáncer de mama femenino y masculino, abortos espontáneos, Alzheimer, esclerosis, enfermedades cardiovasculares, suicidios e incluso casos de esterilidad.

Se estima que, en 2011, en el mundo había 2.263.512.248 usuarios de internet (Banco Mundial, 2012), es decir, el 38% de los suscriptores a telefonía móvil. En 2011, el total de usuarios en América Latina (230.172.702) correspondió a 10,2% del total de utilizadores a nivel mundial.

Colombia, con 18.958.558 usuarios, representó el 0,84% del total mundial y el 8.2% en la esfera regional. (Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia, 2012)

Según datos del Ministerio de la Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (MinTIC) de diciembre de 2019, el mercado colombiano de telefonía móvil tiene a Claro como operador dominante, con una participación del 46,93 %, seguido por Movistar (24,26 %), Tigo (17,56 %), Avantel (3,47 %) y ETB (0,59 %).

El comportamiento de los ingresos operacionales del sector TIC en Colombia crecieron 2,2% en 2019 principalmente debido al segmento de internet móvil, cuyos ingresos crecieron 20,1%. Para el año 2019, según la CRC, se contabilizaron un total de 66,28 millones de líneas de voz móvil, lo que significa una penetración en el país de 134%. (...) En cuanto a las redes 4G estas serían las más utilizadas para acceder a internet móvil con 21,1 millones de accesos en 2019, más que las tecnologías 2G y 3G, lo que corresponde, según el informe, al 67% de los accesos totales a Internet móvil. (...) En el consumo de datos por terminal móvil se han incrementado en Colombia 292,5% entre 2016 y 2019 pasando de 293 MB por mes por usuario a 1.150 MB. Por su parte, los servicios fijos reportan que el acceso al mismo en Colombia llegó a 6,95 millones al cierre, representando ello una penetración del 39,7% a nivel de hogares. El de las líneas telefónicas indica que el número era de 7,01 millones al cierre de 2019, de las cuales 5,7 millones es decir 82%, eran residenciales. En cuanto al número de conexiones de televisión por suscripción en Colombia llegó a 5,9 millones en 2019 representando ello un crecimiento anual del 0,6%. Con lo anterior, la tasa de penetración del servicio en términos de hogares se único en 37%. (La República, 2020)

En materia de crecimiento económico la perspectiva de empleadores y empleados, no es la más optimista quizá en contravía de los indicadores de recuperación y crecimiento de los últimos años (...) para el año 2019, la tasa de desempleo en Colombia fue del 12,8%, lo que representó un

incremento de 1,0 puntos porcentuales respecto al mismo mes de 2018 (11,8%), estas variaciones no pueden ser ajenas a la realidad social que vive el país, la migración extranjera específicamente la población venezolana y el leve crecimiento de los sectores que tradicionalmente general empleo han disparado la tasa de desocupación e incrementado la informalidad en Colombia, estos indicadores están lejos de una crisis laboral en el país, empero es necesario tomar medidas para mitigar los efectos o tendencia al alza en la tasa de desocupación que se viene reflejando en el último cuatrienio. (...)

(...) El sector de las TICs que en la última década ha mantenido una participación promedio en el PIB del 3,0%, con variaciones leves y fluctuaciones pro cíclicas respecto al Producto Interno Bruto y del cual se espera mayor crecimiento en la economía colombiana, no ha logrado fortalecerse con los diferente planes y programas que adelantan los gobiernos nacionales, sin embargo aporta en materia de generación de empleos más de 120 mil oportunidades de ocupación con tendencia al alza en las diversas actividades del sector. (Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia, 2019)

Según la ANDI (2018) varios factores han afectado la productividad de la industria colombiana, Entre ellos los más relevantes que afectan de manera positiva se encuentran en su orden, actualización y modernización tecnológica (30,1%), mejora de procesos de la línea productiva (19,9%), mayor eficiencia del recurso humano y/o su capacitación (16,4%), logística, planeación y control de procesos (14,4%), demanda del mercado/mayor volumen (14,4%), metodologías y programas de mejora continua (8,9%), seguimiento a indicadores (7,5%), incentivos al personal por cumplimiento de objetivos (6,8%), y mejora de procesos organizacionales (6,8%), estos numero indican la necesidad de potenciar y mejorar la condición del capital humano son metodologías de asesoramiento, capacitación y modernización.

Según el informe, elaborado por la Universidad de los Andes, Colombia tiene uno de los mercados de telecomunicaciones más concentrados del mundo y que en el país faltan reglas de juego claras que garanticen una competencia efectiva en el sector.

A diferencia de otro tipo de riesgos laborales, por ejemplo, trabajo en alturas, seguridad vial, manejo de sustancias químicas, entre otros, Colombia no cuenta con una reglamentación que contenga protocolos específicos o límites admisibles de exposición capaces de proteger y velar por el bienestar y seguridad de los trabajadores del sector de las telecomunicaciones.

En consecuencia, a lo argumentado anteriormente, se crea la necesidad de realizar una investigación a los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones, debido al enfoque de ser un tema de alto interés, pero poco concluyente en las investigaciones desarrolladas alrededor del mundo hasta el momento. Este análisis busca reunir la información necesaria para brindar una visión clara a la problemática que presenta este importante sector económico y formular líneas temáticas para futuras investigaciones a partir de los resultados obtenidos

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar un estado del arte que permita identificar los principales efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones.

2.2 Objetivos específicos

Efectuar una inmersión teórica para la conceptualización de la temática a estudiar. Literatura gris y sitios web especializados.

Realizar una revisión bibliográfica de documentos y artículos científicos relacionados con efectos adversos sobre la salud por exposición a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones.

Clasificar y categorizar la información obtenida en la revisión bibliográfica para determinar los efectos adversos que mayor incidencia presentaron en la población objeto de estudio.

Elaborar un artículo de carácter publicable a partir de los resultados obtenidos.

3. Marco referencial del proyecto

En este capítulo, se detallan conceptos generales considerados básicos para el desarrollo de la investigación. Conceptos que a futuro permitirán esclarecer el enfoque investigativo.

3.1 Antecedentes históricos

En los últimos años el interés por los efectos biológicos y posibles consecuencias para la salud ocasionados por los campos electromagnéticos y magnéticos débiles de baja intensidad han incrementado en gran proporción. El cáncer, la reproducción sexual, las reacciones neurológicas y de comportamiento e incluso la muerte; son unas de las temáticas más abordadas en este campo, demostrando una necesidad de información que hasta el momento sigue en desarrollo.

La exposición a campos electromagnéticos se produce en todos los ámbitos de la vida cotidiana, en el hogar, en el colegio o universidades, en el uso de novedosos medios de transporte y principalmente en áreas de trabajo. Esta última, genera mayor preocupación por el creciente número de casos sospechosos de enfermedades laborales y los altos costos que estas generan.

Muchos trabajadores se hallan expuestos a niveles superiores de campos electromagnéticos, comparados con una persona promedio dentro de su rutina en casa. Los equipos electrónicos, motores eléctricos, conductores eléctricos, entre otros, generan intensidades de campo medias de 0,2 a 0,4 μT (microtesla) por jornada de trabajo, teniendo como ejemplo una jornada estándar de 8 horas diarias (Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo, 1998). Esta exposición parecer ser inofensiva, sin embargo, pequeñas variaciones en el número de horas

laboradas o cantidad de intensidad eléctrica recibida podrían ser un factor clave en el aumento de riesgo para los trabajadores.

Así mismo, existen otras incertidumbres en lo que respecta a la exposición de campos electromagnéticos, como lo son los factores de modificación, frecuencia de los campos electromagnéticos, conocimiento de la exposición total diurna y nocturna, entre otros.

Según el artículo 2.2.4.6.3 3 del decreto 1072 (2015) sobre el sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia, tiene como finalidad mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo, implicando velar por la promoción y mantenimiento del bienestar físico, mental y social de los trabajadores, en todos los campos. Este concepto fundamental implica que “el trabajo puede tener efectos perjudiciales o beneficiosos sobre la salud. Sí bien es claro, los trabajadores del sector industrial ocupan en gran porcentaje los casos de mayor exposición a agentes de riesgo, como es citado en la tesis elaborada por Santiago Vega (2019) “A pesar de la normativa colombiana y la problemática en la salud, falta más compromiso y responsabilidad con el bienestar de los trabajadores”.

Las condiciones de trabajo pueden ser causa de incapacidad o de agravamiento de incapacidades preexistentes o potenciales. Pero también pueden mejorar la salud fisiológica y psicológica (Mangosio,2008)”.

En consecuencia, estos efectos pueden desencadenar en una repercusión no solo a la salud general de los trabajadores sino a las empresas en sí mismas. En la tesis desarrollada por Troya y Zabala (2007) habla que: “La discusión de los CEM y las lesiones que generan ha sido debatida a nivel mundial desde hace aproximadamente tres décadas, sin tener un resultado definitivo que compruebe o niegue esta hipótesis”. La eficiencia en el desarrollo de labores por parte de los

colaboradores está estrechamente relacionada con el bienestar y seguridad de estos, en términos generales, un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo fomenta espacios seguros y saludables y a su vez ofrece a las empresas un marco normativo que permite identificar y controlar los riesgos ocasionados durante el desarrollo de su actividad económica. Según lo expuesto por Diaz Mendoza (2014) en su tesis de grado: “Los costos económicos a nivel empresarial, nacional y global relacionados con la salud y seguridad en el trabajo con colosales. (...) Cada año mueren dos millones de hombres y mujeres por culpa de los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales.

Como se ha mencionado durante el desarrollo de esta investigación, en Colombia no se cuenta con una reglamentación que contenga protocolos específicos o límites admisibles de exposición capaces de proteger y velar por el bienestar y seguridad de los trabajadores del sector de las telecomunicaciones, y a su vez, la cantidad de material científico y probatorio en el tema es muy reducido en comparación de los demás posibles riesgos y enfermedades laborales. Por tal motivo, se crea la necesidad de mencionar algunos estudios científicos desarrollados a nivel mundial que tiene como eje temático el análisis de los posibles efectos adversos sobre la salud de trabajadores del sector de las telecomunicaciones debido a la exposición a campos electromagnéticos producto de su actividad económica.

En 1975, Lancranjan et al, en su estudio de casos y controles “Gonadic Function in Workmen with Long-Term” se determinó un numero de descensos significativos en la cantidad de espermatozoides móviles en 31 hombres expuestos a radiación de microondas y radiofrecuencias, en comparación con 30 controles, expuestos durante ocho años.

Otro estudio realizado en 1996 por Tablado L., Pérez Sánchez F. y Soler C. “¿Está la movilidad del semen afectados por los campos magnéticos?” experimentada en ratones, se evaluó el

movimiento de los espermatozoides en animales expuestos a campos electromagnéticos, los cuales dieron como resultado cambios en la movilidad de la esperma durante el paso por el epitimo, con cambios permanentes entre la cabeza y el cuerpo, notándose un desplazamiento mayor al de un animal no expuesto.

Sin embargo, la fertilidad y sexualidad no ha sido el único tema puesto en consideración cuando referencia hace a exposición a campos electromagnéticos. N. Hakansson et al, a través del estudio de la incidencia de cáncer en una cohorte entre 1985 y 1994 de trabajadores expuestos a campos electromagnéticos, en una industria de ingeniería, evaluó la relación entre la exposición profesional de soldadores a campos magnéticos de frecuencias ELF y el cáncer. Los resultados obtenidos en dicha investigación no fueron estadísticamente significativos, pero la mayoría de las estimaciones de riesgo se encontraban entre nivel bajos a medios, lo que genera posibles investigaciones futuras sobre el tema.

Severson (1998) evalúa la hipótesis de que la radiación no ionizante en la forma de campos electromagnéticos puede desempeñar un papel en la carcinogénesis, en general, y en particular la leucemia aguda, basada en una población estudio de casos y controles de expuestos a campos electromagnéticos en zonas urbanas. A su vez, Coleman en 1998, en su estudio sobre “Leucemia y Residencia cerca de Equipos de Transmisión de Electricidad” lleva a cabo un estudio de caso de control probatoria a la hipótesis de campos electromagnéticos como generadores de enfermedades cancerígenas, por ejemplo, leucemia y tumores de sistema nervioso central, debido a la incidencia de campos generados por líneas de alta tensión de energía eléctrica.

En gran Bretaña, Dolk H (1997) en su estudio de la incidencia de cáncer cerca de los transmisores de radio y televisión, concluye que en un radio de 2 kilómetros existe riesgo de padecer

leucemia en adultos, mientras que a mayor distancia de la fuente generadora de la radiofrecuencia hubo una disminución significativa en el riesgo.

En temas relacionados a la salud mental, L. Bzik (1985) evalúa 120 trabajadores expuestos de modo crónico a la acción de ondas electromagnéticas, mediante exámenes neurológicos y electroencefalograma (EEG); encontrando trastornos subjetivos frecuentes de cefaleas con ondas lentas de gran amplitud.

Estas y cientos de investigaciones más, han abierto la puerta a nuevas temáticas de estudio enfocadas no únicamente a la rama de salud pública, sino a áreas como las ingenieriles y ciencias humanas, brindando cabida a diferentes perspectivas de esta problemática.

3.2 Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo

“Están constituidas por los factores sociotécnicos y organizacionales del proceso de producción implantado en el establecimiento y por los factores de riesgo del medio ambiente de trabajo. Existe entonces una relación estrecha entre el proceso de trabajo y la salud, y esto es lo que vuelve fundamental la actividad de prevención para aislar a los trabajadores del riesgo y evitar que estos repercutan también en las ventajas competitivas del sistema productivo”. (Neffa, 2017, p. 1).

En otras palabras, dichas condiciones son una serie de factores, que influyen en las actividades laborales; por ejemplo, la duración de la jornada laboral, los sistemas remunerativos utilizados, el medio ambiente de trabajo en el cual se encuentra expuesto a posibles agentes de riesgo, entre otros.

3.3 Riesgo

Es la probabilidad de que ocurran acciones negativas que perjudiquen la salud de las personas. (Suarez & Weng, 2011)

Con el fin de comprender cuales son los factores de riesgo, tipos de riesgo, los estándares y límites permisibles que existen a la fecha, se presenta a continuación de manera breve una definición de estos:

3.3.1 Factores de riesgo.

“Un factor de riesgo es cualquier rasgo, característica o exposición de un individuo que aumente su probabilidad de sufrir una enfermedad o lesión” (OMS,2020).

Dada la anterior definición, es posible inferir que un factor de riesgo se puede encontrar en la vida cotidiana, en otras palabras, donde influye el lugar físico, el medio ambiente o las herramientas de trabajo, es decir no debe ser restringido a un ambiente laboral. Estos factores de riesgo pueden ser generadores de exposición o eventos peligrosos.

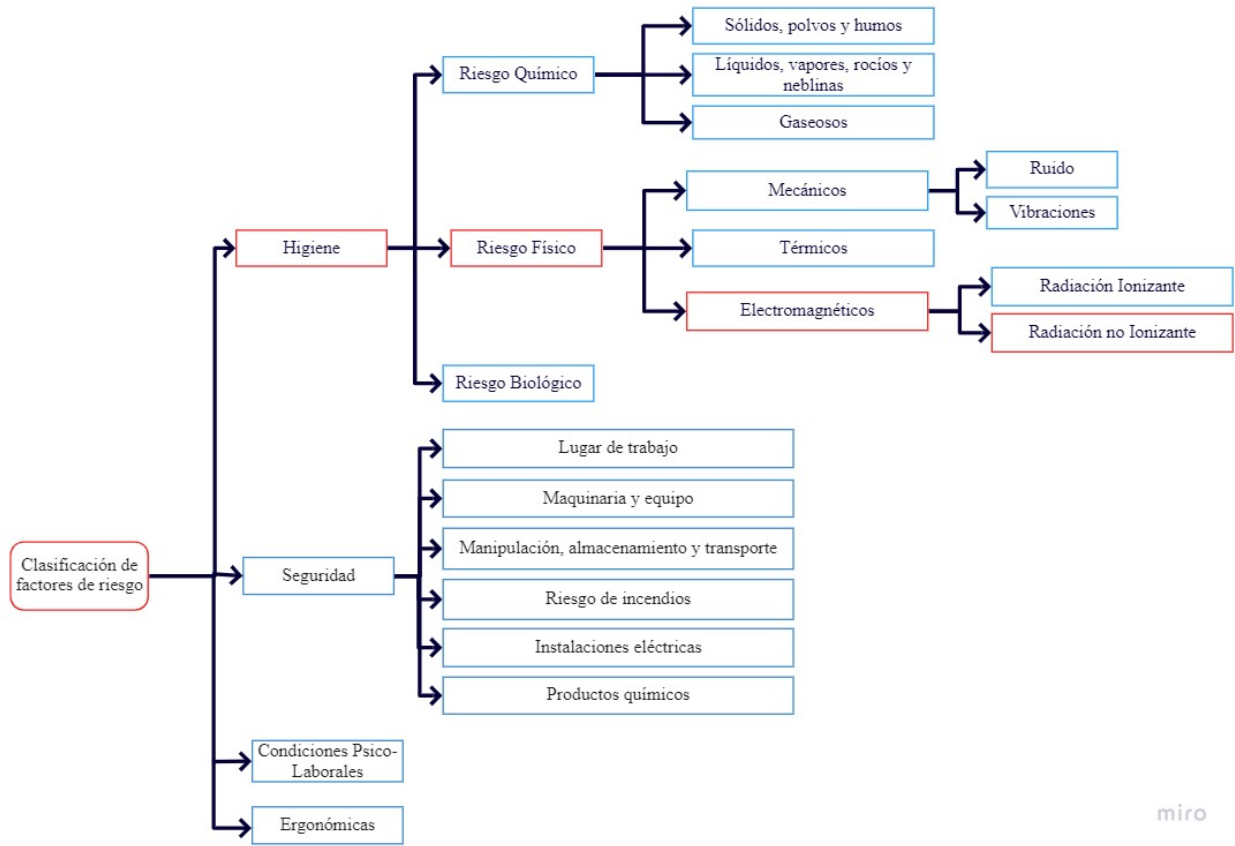
3.3.2 Clasificación de los factores de riesgo

Los principales factores de riesgo se encuentran clasificados en 4 ramas, las cuales son: seguridad industrial, higiene industrial, condiciones psico-labórales y condiciones ergonómicas. Esta clasificación se muestra en la *Figura 1*, donde se pueden observar los recuadros demarcados que trazan el tipo de riesgo identificado para la investigación,

convirtiéndose en fuente de riesgo principal, la radiación no ionizante, siendo este un riesgo físico derivado de la rama higiene industrial.

Figura 1.

Matriz clasificación de riesgo.



3.3.2.1 Factor de riesgo físico. Son todos aquellos factores ambientales de naturaleza física transmitidos por ondas que pueden provocar efectos adversos a la salud según sea la intensidad o el tiempo de exposición. Se clasifican en: Ruido, Iluminación, Temperaturas extremas, Vibraciones, Presión, Radiaciones ionizantes y Radiaciones no ionizantes.

En todo lugar de trabajo existe un ambiente físico que rodea a las personas trabajando. Entre el ambiente y las personas se produce una interacción que puede causar daño si se sobrepasan determinados niveles de equilibrio normal. (Parra, 2003) Los efectos de los agentes físicos se deben a un intercambio de energía entre el individuo y el ambiente a una velocidad y potencial mayor que la que el organismo puede soportar, lo que puede producir una enfermedad profesional (Universidad Nacional de la Plata, 2018).

3.4 Enfermedad Profesional o Laboral: Ley 1562 del 2012

Es enfermedad laboral la contraída como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral o del medio en el que el trabajador se ha visto obligado a trabajar (Artículo 4°, Ley 1562, 2012).

3.5 Factor de riesgo laboral: Agentes Etiológicos

Según el decreto 1477 de 2014 expedido por el Gobierno Nacional, se establece la nueva tabla de enfermedades laborales, en la cual, se logra evidenciar cinco factores de riesgo

ocupacional: Químicos, Físicos, Biológicos, Psicosociales y Agentes Ergonómicos. A su vez, se observa algunos cambios, entre ellos la creación de la categoría de enfermedades directas.

3.5.1 Agentes físicos

Los agentes físicos son aquellos derivados de los medios de producción (ruido, vibraciones, frío, calor y radiaciones), que de manera inadecuada producen daños a la salud del trabajador (trastornos acústicos, fenómeno de Raynaud, golpe de calor, congelación y cáncer) (Espinoza, Hernández, Isidro, Uribe & Aranda, 2010).

3.6 Radiación

La radiación es definida como la propagación de energía a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Una onda electromagnética está formada por un componente eléctrico y un magnético. De acuerdo con la carga de energía propagada y al tipo de interacción física que produzca en el ser humano, se clasifican en radiaciones ionizantes y no ionizantes. Si la radiación incidente tiene suficiente energía, puede arrancar electrones de los átomos del medio, convirtiéndolos en iones cargados eléctricamente, se le conoce con el nombre de Radiación Ionizante; pero si la radiación incidente no es capaz de provocar la ionización en los seres vivos, se le conoce con el nombre de Radiación no Ionizante (Troya & Zabala, 2007).

3.6.1 Radiación no ionizante (RNI)

Según la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (1998) la radiación no ionizante (RNI) engloba toda la radiación y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. Las radiaciones de origen artificial proceden de diversos artefactos creados por el hombre y pueden ser producidas por equipos radioeléctricos o no. (Frizzera, 2007)

A frecuencias inferiores a 300 MHz aproximadamente, los campos se cuantifican en términos de intensidad de campo eléctrico (E) e intensidad de campo magnético (H). E se expresa en voltios por metro (V/m) y H en amperios por metro (A/m). Ambos son campos vectoriales: se caracterizan por la magnitud y dirección en cada punto. En el intervalo de baja frecuencia, el campo magnético suele expresarse en términos de densidad de flujo, B, por medio de la unidad SI denominado tesla (T). Al hablar de los campos de nuestro entorno diario, suele preferirse como unidad el submúltiplo micro tesla (μT). (...) Intensidades de campo medias de 0,2 a 0,4 μT (micro tesla) por jornada de trabajo parecen ser el nivel por encima del cual podría haber un aumento del riesgo, y se han calculado niveles similares para las medias anuales en relación con sujetos que viven debajo de líneas de alta tensión o en sus proximidades. (Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1998).

3.6.2 Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (RUV) es una forma de radiación óptica de longitudes de onda más cortas y fotones (partículas de radiación) más energéticos que los de la luz visible. (...) La RUV está presente en la luz del sol y también es emitida por un gran número de fuentes ultravioleta utilizadas en la industria, la ciencia y la medicina. Los trabajadores pueden encontrarse con la

RUV en una gran variedad de puestos de trabajo. (Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1998)

El límite de exposición a la RUV es mínimo a 270 nm (0,003 J/cm² a 270 nm) y, por ejemplo, a 308 nm es de 0,12 J/cm² (ACGIH 1995, IRPA 1988). El riesgo biológico por exposición a radiación ultravioleta es para exposiciones en forma de impulsos a lo largo del día, una exposición única de corta duración o en 8 horas de exposición a algunos micro vatios por cm²; los límites antes indicados se aplican a la jornada de trabajo completa.

3.6.3 Radiación infrarroja

La radiación infrarroja es la parte del espectro de radiación no ionizante comprendida entre las microondas y la luz visible. Es parte natural del entorno humano y por lo tanto las personas están expuestas a ella en pequeñas cantidades en todas las situaciones de la vida diaria, por ejemplo, en el hogar o durante las actividades recreativas realizadas al sol. No obstante, puede producirse una exposición muy intensa debido a ciertos procesos técnicos en el lugar de trabajo. (Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1998)

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1 mm. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1,4 μm), IRB (de 1,4 μm a 3 μm) e IRC (de 3 μm a 1 mm).

3.6.4 Luz y radiación infrarroja

La luz y la energía radiante infrarroja (IR) son dos formas de radiación óptica que, junto a la radiación ultravioleta, constituyen el espectro óptico. Dentro de este espectro, las distintas longitudes de onda tienen potenciales considerablemente diferentes para ocasionar efectos

biológicos, por lo cual el espectro óptico puede subdividirse aún más. (..) La radiación infrarroja (RIR, longitudes de onda de 760 nm a 1 mm) se denomina también comúnmente radiación térmica (o calor radiante), y es emitida por todos los objetos calientes (motores calientes, metales en fusión y otras fuentes de calor en fundiciones, superficies termo tratadas, lámparas eléctricas incandescentes, sistemas de calefacción radiantes, etc). (Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1998).

3.6.5 Láseres

El término láser es en realidad un acrónimo de “light amplification by stimulated emission of radiation” y se define como un dispositivo que produce energía radiante electromagnética coherente dentro del espectro óptico comprendido entre la zona final del ultravioleta y el infrarrojo lejano (submilimétrico). (Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1998)

Estos dispositivos también llamados “proceso láser” son de gran utilidad en el entorno industrial, médico o incluso domestico debido a sus numerosas aplicaciones. Sin embargo, varios estudios científicos han demostrado que, aunque parecen ser inofensivos el proceso laser es accesible y puede suponer un riesgo potencial para la salud del ser humano, viéndose en riesgo potencial los ojos y la piel debido a que produce radiación óptica, es decir, energía radiante ultravioleta, visible o infrarroja.

La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP, 1998) ha publicado guías sobre límites de exposición humana a la radiación láser, sin embargo, casi todos los procesos láser sobrepasan los límites de exposición admisibles. Por lo tanto, en la práctica no suelen utilizarse los límites de exposición para determinar medidas de seguridad.

3.7 Campos Electromagnéticos

Los conductores eléctricos energizados y que transportan corriente, así como las antenas, son fuentes a la vez de campos eléctricos al ser el soporte de cargas eléctricas, y de campos magnéticos, al estar dichas cargas en movimiento. Por este motivo, se habla de campo electromagnético (CEM, o EMF en inglés), al estar en presencia simultánea de ambos campos. Por ejemplo, las líneas de transmisión y las de distribución de energía eléctrica, así como las antenas son generadoras de estos campos electromagnéticos: servicios de Radiodifusión de AM, FM, TV, Telefonía Celular, móviles celulares, dispositivos de UHF, VHF, radioaficionados, etc... A su vez los campos electromagnéticos variables en el tiempo transportan energía, y son capaces de inducir campos eléctricos, corrientes, y campos magnéticos sobre otros cuerpos y objetos de su entorno. Son caracterizados por dos parámetros: la amplitud o intensidad y la frecuencia (Cabal, Otero & Acuña, 2005).

3.7.1 Clasificación de los campos electromagnéticos

Los campos electromagnéticos se clasifican de acuerdo con su frecuencia en:

- CEM de baja frecuencia y extremadamente baja o frecuencia industrial (desde 3 hasta 300 Hz), que son los producidos por las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica, redes de telefonía y por la mayoría de los electrodomésticos.
- CEM de frecuencia intermedia (entre 300 Hz y 10 MHz), que son los producidos por pantallas de computadoras, dispositivos antirrobo y sistemas de seguridad y transmisiones de radio AM.

- CEM de alta frecuencia (entre 10 MHz y 300 GHz), que son los producidos por sistemas de radiodifusión, televisión, hornos de microondas, teléfonos celulares, enlaces de microondas, antenas de radares, en orden creciente de frecuencia (Cabal, Otero & Acuña, 2005).

Bajo el objeto investigativo, durante el desarrollo de esta tesis es necesario abordar los tres tipos de campos electromagnéticos, debido a que el foco de investigación (empleados del sector de telecomunicaciones) se ve afectado directamente por cada una de ellas, logrando especial énfasis en campos electromagnéticos de alta frecuencia por su relación con líneas de baja, media y alta tensión.

3.7.1.1 Campos electromagnéticos de altas frecuencias. Los campos electromagnéticos de alta frecuencia son una forma de radiación no ionizante y comprenden frecuencias intermedias (300Hz-10MHz) y radiofrecuencias (10MHz-300 GHz). Estos campos se utilizan para transmitir información a distancias largas y son la base de las telecomunicaciones, así como de la difusión de radio y televisión en todo el mundo. Las microondas son campos de RF de frecuencias altas, del orden de GHz (Organización Mundial de La Salud OMS, 2021).

3.8 Reflexión, Absorción y Transmisión

La frecuencia de la radiación junto con algunas características del medio material (conductividad, permitividad constante dieléctrica, tamaño, espesor) determinan los grados de

absorción, reflexión y transmisión. En el caso de tejidos animales que interaccionan con radiaciones de RF-MO suelen darse en mayor o menor grado los tres fenómenos.

Como consecuencia de la absorción de energía se produce una atenuación de la onda a medida que avanza por el medio material. Se denomina profundidad de penetración a la distancia en que las amplitudes de los campos eléctricos y magnéticos se reducen por el coeficiente e^{-1} (36,7%), o, la densidad de potencia se reduce por e^{-2} (13,5%), respecto de los valores en la superficie. (NTP 234)

3.9 Efectos biológicos causados por exposición a campos electromagnéticos: baja y alta frecuencia.

Un efecto biológico ocurre cuando la exposición a un campo electromagnético causa algún efecto fisiológico detectable en un sistema vivo. Este efecto puede o no llevar a un efecto nocivo. Por tanto, es esencial no identificar efecto biológico y efecto nocivo. Los efectos sobre la salud son frecuentemente resultado de efectos biológicos que se acumulan sobre un cierto espacio temporal y que además dependen de la dosis recibida. Por lo tanto, el conocimiento de los efectos biológicos es importante para entender los riesgos generados para la salud. (Sáiz & Solano, s.f)

Cuando una entidad biológica se expone a un campo electromagnético, se produce una interacción entre la potencia del campo, la corriente eléctrica inducida y las cargas del tejido corporal. El efecto biológico es la respuesta fisiológica a esa interacción, que puede o no ser perceptible por el organismo expuesto. El efecto biológico no tiene por qué ser necesariamente una lesión. Se produce una lesión cuando el efecto biológico supera las propiedades biológicas de

compensación del organismo. El riesgo es una probabilidad latente de que se produzca una lesión. Los efectos producidos por exposición a campos electromagnéticos desde el punto de vista clínico se pueden clasificar en agudos y crónicos. Los efectos agudos se relacionan con efectos inmediatos y objetivos, y los crónicos no son ni inmediatos ni objetivos, se pueden denominar a largo plazo; además se pueden clasificar como nocivos y benéficos estando estos últimos en el campo de la magnetoterapia. (Álzate & Torres, 2006)

Durante décadas los científicos han intentado explicar cómo interacciona el campo electromagnético con un sistema biológico, aun cuando éste no tenga energía suficiente como para ionizar un átomo o inducir calor. Las bases de la interacción electromagnética con un medio material fueron resueltas hace más de un siglo a través de las ecuaciones de Maxwell. Sin embargo, la aplicación de estas bases a un sistema biológico es muy complicada debido a la extrema complejidad y múltiples niveles de organización de los organismos vivos, además de la gran variedad de propiedades eléctricas de los tejidos biológicos. (...)

(...) Los campos eléctrico y magnético que interaccionan con el cuerpo debidos a una fuente próxima pueden causar dos tipos de efectos biológicos, unos térmicos y otros no térmicos. Los efectos del campo magnético varían con la frecuencia y son, probablemente, más importantes en tejidos biológicos con pequeñas cantidades de magnetita, que se comporta como un medio ferromagnético análogo al hierro. La magnetita se encuentra en ciertas células de animales, incluidas las humanas. Se cree que algunos animales la usan para guiarse en sus desplazamientos (Sáiz & Solano, s.f).

Los efectos térmicos son los que causan un aumento de la temperatura debido a la energía absorbida de un campo electromagnético. La fuerza producida por un campo eléctrico sobre un cuerpo cargado, tales como los iones móviles del cuerpo, produce que éstos se muevan y la

resistencia eléctrica a ese movimiento hace que el cuerpo se caliente. El aumento de temperatura se compensa por la termorregulación conducida por el flujo de la sangre. La relación entre el aumento de temperatura y la SAR es muy complicada, debido principalmente a lo complicado de modelar la influencia del flujo de sangre sobre la transferencia de calor (Sáiz & Solano, s.f).

La radiación electromagnética puede producir efectos no térmicos. En general, pueden surgir cambios detectables sólo si el efecto del campo eléctrico con el medio biológico expuesto a un campo electromagnético no está enmascarado por el ruido térmico. El ruido térmico es un movimiento random (aleatorio) debido a la energía térmica que todos los cuerpos tienen al poseer una temperatura por encima del cero absoluto (-273°C o 0 Kelvin). A la temperatura habitual (300 K) esta energía es de aproximadamente 26 MeV, que es mucho mayor que la energía producida por un campo de radiofrecuencia y, por tanto, su efecto no térmico queda completamente enmascarado. Sin embargo, es posible que ciertos tejidos biológicos reaccionen muy sensiblemente a ciertas frecuencias resonantes y se deberían estudiar estas situaciones. Otro mecanismo no térmico proviene de las moléculas que se polarizan con el campo eléctrico pudiendo producirse atracciones eléctricas entre ellas. Otro mecanismo no térmico está asociado al movimiento de corriente a través de las membranas que tienen un comportamiento fuertemente no lineal. Esto significa, que cuando se aplica una tensión a una membrana la corriente no es proporcional a ella (Saiz & Solano, s.f).

3.9.1 Efectos y mecanismos de los campos de baja frecuencia (ELF)

Por campos de baja frecuencia entendemos todos aquellos cuya frecuencia sea inferior a 30 KHz. Durante mucho tiempo, los investigadores han intentado diversas teorías de interacción de frecuencias de ELF. Aunque la radiación de ELF no puede romper, debido a su baja energía,

ningún enlace químico por débil que sea, existen mecanismos de interacción bien definidos que muestran la interacción con los tejidos biológicos sin necesidad de romper enlace alguno. Los campos eléctricos pueden crear fuerzas sobre moléculas cargadas o neutras o sobre sistemas celulares dentro de sistemas vivos. Estas fuerzas pueden causar movimiento de partículas cargadas o inducir tensiones entre las membranas de las células. Los campos magnéticos también pueden producir fuerzas sobre estructuras celulares, pero como la mayoría de los medios biológicos son no magnéticos, estas fuerzas son muy pequeñas. Además, los campos magnéticos pueden producir campos eléctricos en el interior de los cuerpos (Saiz & Solano, s.f).

El campo eléctrico de baja frecuencia puede excitar la membrana celular causando efectos nocivos. A frecuencias de líneas de alta tensión el valor límite de la densidad de corriente para producir efectos nocivos es de alrededor de 10 mA/m² que se corresponde con un valor del campo eléctrico en los tejidos de 100 V/m. Muchos científicos opinan que la membrana celular juega un papel esencial en los mecanismos de interacción entre el campo electromagnético y los tejidos biológicos. Sin embargo, gran parte de la información científica recaudada apunta que para que exista efectos nocivos notables intensidades de campo electromagnético importantes y, en cualquier caso, mucho mayor de las que habitualmente existen en nuestro entorno.

3.9.2 Efectos y mecanismos de los campos de alta frecuencia

En la mayoría de los países la exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia es legislada y controlada debido a la gran evidencia científica que los señala como uno de los focos de daño a la salud de trabajadores y comunidad en general. El cáncer y la reproducción son dos de

las muchas enfermedades que continúan en estudio por su relación con el número de casos reportados de las mismas, sin embargo, es una temática inhóspita que día a día crece en investigación científica y hacer afirmaciones sobre la misma puede llegar a ser injurioso.

Para fortalecer esta investigación se procede a realizar una revisión teórica en los tres tipos de efectos biológicos a altas frecuencias: Efectos de nivel alto (térmicos), Efectos de nivel medio (atérmicos) y Efectos de nivel bajo (no térmicos).

3.9.2.1 Efectos térmicos. Un resultado obvio de la radiación de RF/MW es el calentamiento del cuerpo humano a pesar de sus procesos propios de termorregulación. Los efectos térmicos tienen implicaciones significativas en la salud humana y están relacionados con las corrientes inducidas. El calentamiento es la interacción primordial de los campos de RF/MW especialmente a frecuencias por encima de 1MHz. Por debajo, el efecto dominante es el de las corrientes inducidas. Los sistemas biológicos alteran su funcionamiento debido al cambio de temperatura. Temperaturas elevadas tienen efectos como cataratas, incremento de la presión arterial, vértigo y mareos, debilidad, desorientación o náuseas.

Si un humano se calienta por alguna fuente externa a una razón más elevada puede ocurrir un daño térmico. (...) El cuerpo humano intenta regular su temperatura debido a un aumento térmico a través de la respiración y el intercambio de calor vía flujo sanguíneo. Las partes del cuerpo que tienen menos riego sanguíneo son las más afectadas por los efectos térmicos debido a que la termorregulación tiene una menor capacidad de acción. Efectos térmicos adversos tales como cataratas y quemaduras en la piel se producen con exposiciones a campos de RF/MW con densidades de potencia muy altas y por encima de 1000 W/m² (Sáiz & Solano, s.f).

3.9.2.2 Efectos atérmicos y no térmicos. En cuanto a los efectos de la radiación de nivel bajo y medio se trata de ver si estos niveles de potencia pueden causar cambios biológicos dañinos en ausencia de un aumento demostrable de la temperatura. Sobre este aspecto existe alguna controversia. Podemos diferenciar entre aquellos casos en los que la termorregulación entra o no en “funcionamiento”. Cuando la termorregulación hace que la temperatura no aumente, cualquier efecto biológico se dice que es no térmico. Si la termorregulación no interviene se habla de efectos atérmicos. Todos estos efectos se producen con valores de SAR inferiores a 2W/kg (Sáiz & Solano, s.f).

Se han descrito muchos en la literatura, pero básicamente casi todos hablan de efectos neuronales, morfológicos, actividad neurotransmisora y de las enzimas, concentración de iones y efectos sobre el metabolismo. Sobre este tema existe todavía mucha discrepancia entre los investigadores. Algunos consideran probados estos efectos y otros consideran que no está probada de ninguna manera la conexión entre los efectos no térmicos dañinos y la radiación de bajo nivel. Finalmente, hay que decir que los efectos no térmicos también dependen fuertemente de factores de propagación de la onda electromagnética, principalmente el tipo de modulación y por supuesto la frecuencia (Sáiz & Solano, s.f).

Una revisión de la literatura sobre efectos de campos de RF/MW de niveles intermedios y bajos muestran que la exposición a niveles de SAR bajos (siempre menores que 2W/kg), bajo ciertas condiciones, pueden afectar al sistema nervioso, incluyendo efectos morfológicos, electrofisiológicos, en la actividad neurotransmisora y en el metabolismo. También se han descrito efectos sobre el sistema inmunológico, sobre la morfología de los genes y los cromosomas, concentración de iones, morfología celular etc. Algunos de estos efectos nombrados han sido

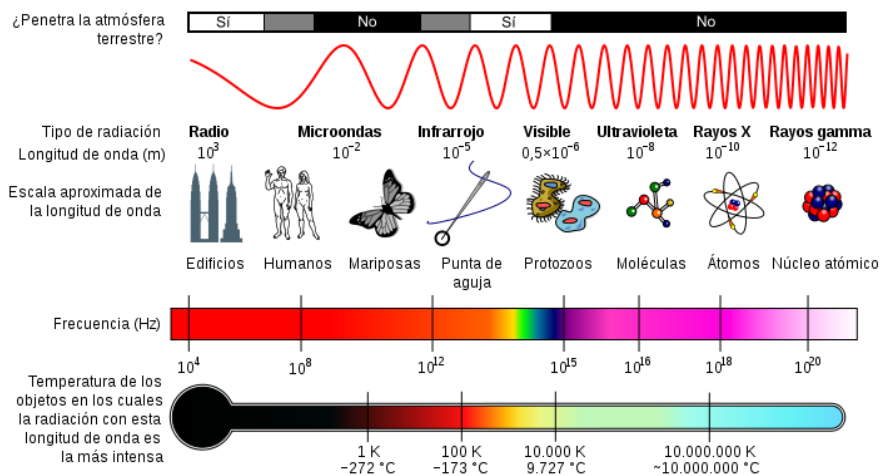
refutados por otros autores por lo que la situación al respecto no es clara. En la mayoría de los casos, los mecanismos de los efectos no se conocen todavía (Sáiz & Solano, s.f).

3.10 Límites de exposición a radiación no ionizante

Para comprender los límites permisibles identificados a radiación no ionizante, es importante entender el espectro de radiaciones y la frecuencia emitida por cada uno de sus componentes. En la *Figura 2* se observa el espectro de radiación según el Foro de Industria Nuclear Española.

Figura 2.

Espectro de radiaciones ionizantes y no ionizantes



Nota: Tomado de Foro de la Industria Nuclear Española. Tomado de: https://www.rinconeducativo.org/contenidoextra/rayos_x/radiaciones_ionizantes_y_no_ionizantes.html Consultado el 6 de noviembre de 2020

3.10.1 Límites de exposición según la ICNIRP

Según la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V (ICNIRP) las guías establecidas propender proteger de los efectos adversos sobre la salud, directos o indirectos, por exposición a campos electromagnéticos. Estos límites a corto plazo, es decir, aquellos que producen efectos inmediatos.

Dependiendo de la frecuencia del campo, las magnitudes físicas empleadas para especificar estas restricciones son: la inducción magnética (B), la densidad de corriente (J), el índice de absorción específica de energía (SAR) y la densidad de potencia (S). Puede medirse la densidad de potencia y la inducción magnética con facilidad en los individuos expuestos. Para establecer las restricciones básicas a los campos electromagnéticos en función de la frecuencia se emplean las siguientes cantidades físicas:

- Entre 0 y 1 Hz se proporcionarán restricciones básicas de la inducción magnética para campos magnéticos estáticos (0 Hz) y de la densidad de corriente para campos variables en el tiempo de frecuencia ≤ 1 Hz, con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central.
- Entre 1 Hz y 10 MHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de corriente para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso.
- Entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan restricciones básicas del SAR para prevenir la fatiga calorífica de cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los tejidos. En la gama de 100 kHz a 10 MHz se ofrecen restricciones de la densidad de corriente y del SAR.

- Entre 10 GHz y 300 GHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de potencia (S) con el fin de prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca del ella.

A continuación, se observa en la *Tabla 2* las restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos alternos, que presenten frecuencias hasta 10 GHz, establecido por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V (ICNIRP).

Tabla 2.

Restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos alternos (frecuencias hasta 10 GHz).

Tipo de Exposición	Intervalo de frecuencia	Densidad de	SAR medio	SAR	SAR
		corriente inducida para cabeza y tronco ($\frac{mA}{m^2}$)	para todo el cuerpo ($\frac{W}{kg}$)	localizado – Cabeza y tronco ($\frac{W}{kg}$)	localizado – Extremidades ($\frac{W}{kg}$)
Exposición Laboral	Hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1 – 4 Hz	401f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0.4	10	20
Exposición de público en general	Hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1 – 4 Hz	81f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0.08	2	4

Nota: Adaptado de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V, 1998.

A continuación, se observa en la *Tabla 3* los niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos, los cuales fueron obtenidos por el análisis de diferentes estudios epidemiológicos en exposición ocupacional.

Tabla 3.

Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos

Rangos de frecuencia	Intensidad de campo eléctrico V_M^{-1}	Intensidad de campo magnético A_M^{-1}	Densidad de flujo magnético (T)	Densidad de potencia W_M^{-2}
Hasta 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 – 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8 – 25 Hz	20000	$1,63 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
0,025 – 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 – 1 MHz	610	$1,6/f$	$2/f$	-
1 – 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2/f$	-
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3f^{0,5}$	$0,008f^{0,5}$	$0,01f^{0,5}$	$f/4$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Nota: Adaptado International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V, 1998.

Los efectos biológicos a la salud establecidos en el rango de frecuencias de 10 MHz a unos pocos GHz son consistentes con las respuestas al incremento de temperatura del cuerpo en más de 1 °C. Este nivel de incremento de temperatura resulta de la exposición de individuos bajo condiciones ambientales moderadas a un SAR de cuerpo entero de 4 W kg⁻¹ por cerca de 30 minutos. Por lo tanto, se ha escogido un SAR de cuerpo entero promedio de 0,4 W kg⁻¹ como la restricción que provee protección adecuada para exposición ocupacional. Un factor de protección adicional de 5 es introducido para exposición al público dando un límite de SAR de cuerpo entero promedio de 0,08 Wkg⁻¹. En consecuencia, es posible identificar las restricciones básicas para la densidad de potencia según el tipo de exposición en la *Tabla 4*. Las restricciones básicas más bajas para exposición al público en general toman en cuenta el factor que sus edad o estado de salud puede diferir del de los trabajadores (ICNIRP, 1998).

Tabla 4.

Restricciones básicas para la densidad de potencia S (W/m²).

Tipo de exposición	Intervalo de frecuencia	Densidad de potencia S (W/m)
Exposición laboral	10 GHz – 300 GHz	50
Exposición de público en general	10 GHz – 300 GHz	10

Nota: Adaptado International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V, 1998.

Con el fin de dar una mayor profundidad en el análisis de los valores mostrados anteriormente, en el *Apéndice C* se realizan las respectivas anotaciones.

3.10.2 Límites de exposición según la OIT

La OIT adopta los valores límites de exposición dados por la ICNIRP; casi todas las normas con límites comprendidos en la gama de $> 0 - 30$ kHz se basan en la necesidad de mantener los campos y corrientes eléctricos inducidos dentro de niveles seguros. Según la OIT lo límites de exposición profesional vigentes. Ver *Tabla 5*.

Tabla 5.

Límites de exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos en el intervalo de frecuencias > 0 a 30 KHz

País / Referencia	Gama de frecuencias	Campo eléctrico (V/M)	Campo magnético (A/M)
<i>Internacional (IRPA, 1990)</i>	50/60 Hz	10.000	390
<i>EE.UU. (IEEE, 1991)</i>	3 – 30 kHz	614	163
<i>EE.UU. (ACGIH, 1993)</i>	1 – 100 Hz	25.000	60/f
	100 – 4000 Hz	$2,5 \times 10^6 / f$	60/f
	4 – 30 kHz	625	60/f

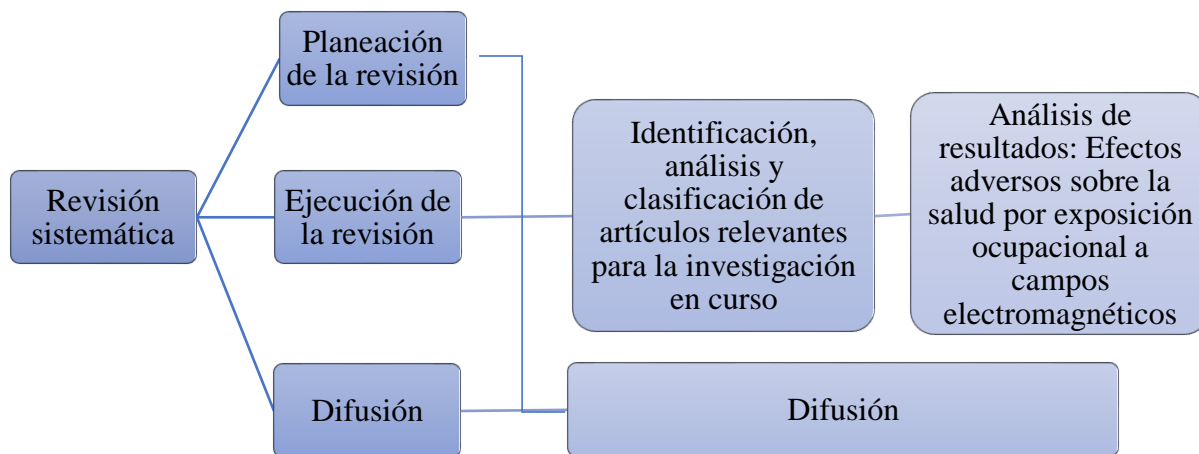
Nota: Adaptado de la Organización Internacional del Trabajo, OIT.

4. Marco metodológico

Como punto de partida para el desarrollo de la investigación, se realizó una inmersión teórica en el eje de investigación a través de una metodología planteada en 3 etapas: Revisión sistemática, análisis de los efectos adversos sobre la salud generados por campos electromagnéticos en empleados del sector de las telecomunicaciones y difusión. Estas etapas son representadas en la *figura 3*.

Figura 3.

Metodología de la investigación.



Nota: Adaptado de Rodríguez, 2017.

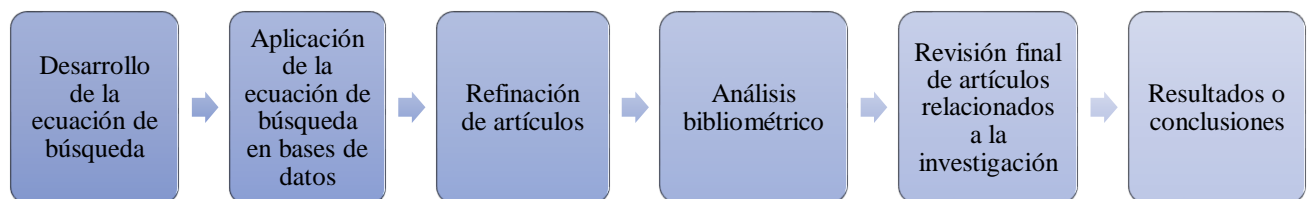
4.1 Revisión sistemática

Como parte del desarrollo del plan de investigación, se realizó una consulta previa de artículos científicos relacionados con el sector de las telecomunicaciones, los cuales permitieron analizar las experiencias documentadas a partir de los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional y normativa e implicaciones a nivel mundial. Con base a la metodología propuesta por Roberto Sampieri en su libro “Metodología de la Investigación” (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 1997) se procede a realizar la revisión de literatura optando por dicho modelo; de este modo se realizó una búsqueda multidisciplinaria que permitió identificar resultados de diferentes tipos.

En la *figura 4* se muestra la secuencia de pasos ejecutados para el cumplimiento del primer objetivo específico, búsqueda y revisión de literatura sobre antecedentes (estudios previos) que relacionen las variables sujetas a la investigación.

Figura 4.

Revisión de literatura, modelo de investigación propuesto.



Nota: Adaptado de Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 1997

En la *Sección 4.1.1.2* se presenta la revisión de literatura gris, la cual se realizó con el fin de contextualizar y unificar conceptos acerca del tema objeto de investigación. A través de esta revisión, se identificarán las palabras claves utilizadas en el desarrollo de la metodología de investigación.

De este modo, se procede al desarrollo de la *Sección 4.1.2* donde se realiza la búsqueda del instrumento de evaluación para la investigación, dando cumplimiento al objetivo específico N° 2 planteado en la ficha de investigación. Para ello, se construye una ecuación de búsqueda que tiene como fin expresar de forma más exacta las necesidades de información del investigador y así indagar en documentos científicos aspectos relevantes para la investigación.

4.1.1 Planeación de la revisión

En esta etapa se lleva a cabo tres actividades que definen la manera cómo va a ser desarrollada la revisión, considerándose el aval de las personas involucradas en la investigación.

En concordancia con el objetivo del grupo de investigación Finance & Management, para el marco del proyecto, se aporta desde el área de seguridad y salud en el trabajo con el fin de contribuir a la investigación científica específicamente en los trabajadores del sector de las telecomunicaciones, logrando identificar posibles efectos sobre la salud ante la exposición de campos electromagnéticos. Así mismo, fortalecer los estudios en el área de investigación para Colombia.

4.1.1.1 Identificación de la necesidad de revisión. Según la Resolución 6045 de 2014, que adoptó el Plan Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (PNSST) en Colombia se pretende velar por la seguridad laboral según lo establecido en la Ley 1562 de 2012, cuyo propósito radica en propender por un sistema de riesgos laborales más efectivo y equitativo nacionalmente (Ministerio de Trabajo, 2013).

La necesidad de proteger y brindar bienestar a todos los trabajadores en Colombia ha cobrado una mayor participación en el área de Seguridad y Salud en el Trabajo de muchas compañías. A nivel nacional e internacional, las leyes para las organizaciones son específicas y textuales en cuanto a su aplicación. Tras la investigación preliminar de literatura gris, se logró identificar un grupo de necesidades de información que parten de la carencia de literatura científica e investigativa en Colombia acerca del riesgo ocupacional generado por exposición a campos electromagnéticos.

4.1.1.2. Propuesta de revisión con base a literatura gris. Para dar inicio al desarrollo de la investigación, se hizo necesario una revisión de literatura gris donde se abordaron inicialmente fuentes de información indexadas en bases de datos científicas sobre proyectos encontrados en la base de datos de la Universidad Industrial de Santander, sitios web especializados y la extensión de Google, Google Scholar.

4.1.1.3 Antecedentes. Resulta indiscutible que la sociedad moderna, durante algo más de un siglo, ha evolucionado gracias a la energía eléctrica. Así, las llamadas sociedades industrial y post – industriales encontraron su base motriz en la electricidad, sin cuya existencia hubiera sido impensable el desarrollo de la sociedad de la información y, más recientemente, la del conocimiento y bienestar. (Loyzaaga & Úbeda, 2001).

Sin embargo, no debe olvidarse que toda corriente eléctrica genera un campo magnético y eléctrico cuyas características no pasa desapercibido en el entorno y las personas que lo conforman. Hoy en día, podría decirse que todos estamos expuestos a campos electromagnéticos de distintas fuentes, en mayor o menor grado según las actividades que se realicen en el diario. La exposición a radiación es un tema que parece irrelevante al no ser evidente como lo podría ser la presencia ante un factor de riesgo químico, biológico, ergonómico, entre otro.

En los últimos años, las redes de energía eléctrica y telefonía móvil han expandido de manera significativa su cobertura, la potencia instalada y el tamaño de la industria crecen en gran proporción año tras año y el continuo avance en tecnologías ha puesto en la lupa de los investigadores los daños que estas puedan ocasionar a la salud de las personas, especialmente de trabajadores del sector. Las antenas de telefonía móvil lanzan ondas electromagnéticas con una frecuencia portadora de 900 MHz para el sistema analógico y de 900 MHz y 1800 MHz para el sistema digital, generalmente conocidas como microondas (rango aproximado entre 1 GHz y 300 GHz), pulsadas en frecuencias de audio (Balmori, 2004)

La respuesta de un sistema biológico a un campo electromagnético depende de las propiedades intrínsecas del sistema, en las características del campo externo incidente (especialmente de su potencia radiante y su frecuencia) y del medio en el cual se produce el fenómeno. (Lin, 1994) Algunos órganos o sistemas como el cerebro, el corazón y el sistema nervioso, son especialmente sensibles a estas inducciones. Por ejemplo, varios autores han notificado que la baja frecuencia de los pulsos del sistema GSM interfieren con las ondas cerebrales provocando ondas de alta, patológicas en personas despiertas. (Kramaren-ko, 2003)

No obstante, estas no son las únicas consecuencias registradas científicamente hasta el día de hoy. La evaluación global (NIEHS, 1998) decía: “Una mayoría de los miembros del comité

concluyó que la clasificación de los CEM como un potencial carcinógeno, basado en la evidencia limitada sobre un incremento en el riesgo de leucemias en niños con una exposición residencial y sobre un incremento en los casos de leucemia linfocítica crónica asociada con exposición ocupacional”. También se han investigado posibles asociaciones de otras enfermedades con la exposición a campos magnéticos, entre las que se encuentran otros tipos de cáncer de niños y adultos, depresión, suicidio, disfunción reproductiva, desordenes de desarrollo, modificaciones inmunológicas, enfermedades neurológicas y del corazón. (Cruz, 2009)

Actualmente los estudios de efectos biológicos y en la salud por la exposición a los campos electromagnéticos desarrollados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) alcanzan un total de 247 estudios para frecuencias extremadamente bajas, de las cuales 154 corresponden a frecuencias emitidas por redes de energía eléctrica y telefonía móvil. A pesar de que a primera impresión pareciese ser una temática muy ahondada, hasta el momento no hay evidencia concreta de las consecuencias por exposición a radiación no ionizante.

Esta revisión primaria, permitió una visión más clara del objeto de investigación y la clasificación de palabras claves necesarias para el posterior planteamiento de la ecuación de búsqueda. En consecuencia, luego de hacerse dicho análisis se procedió a revisar las palabras claves encontradas con sus respectivos términos relacionados *Tabla 6* para la cual se identificaron cinco familias de palabras claves “Campos Electromagnéticos”, “Radiación no ionizante”, “Riesgo”, “Exposición Ocupacional” y “Telecomunicaciones”.

Tabla 6.*Palabras Claves*

Palabras claves	Palabra en inglés	Términos relacionados en inglés
Campo Electromagnético	Electromagnetic Field	Electrical Field
Radiación no ionizante	Non-ionizing radiation	
Riesgo	Risk	Danger Exposure
Exposición Ocupacional	Occupational Exposure	Health Effects Disease
Telecomunicaciones	Telecommunications	Worker

4.1.1 Búsqueda del instrumento de evaluación para la investigación

Para lograr el desarrollo práctico de esta investigación es necesario la búsqueda de un instrumento de evaluación válido, con base en la revisión de literatura gris de documentos no indexados a bases de datos científicas, se logra identificar el conjunto de palabras claves utilizadas en la formulación de la primera ecuación de búsqueda (*ver Tabla 7*).

Para formar la ecuación de búsqueda es necesario establecer una relación entre el daño a la salud de los trabajadores del sector de las telecomunicaciones y la exposición a campos electromagnéticos.

Una vez relacionados los términos con sus respectivas agrupaciones, se debe enlazar todas estas asociaciones en un todo, haciendo uso de los parámetros que incluye la construcción de la ecuación de búsqueda (Pérez Gutiérrez, 2000).

Los parámetros usados para la construcción de la ecuación de búsqueda inicial son:

- Operadores Lógicos: AND, intersección que representa los conceptos cruciales y OR, reúne todos los términos del mismo concepto.
- Paréntesis: (), permiten orden y facilitan la orientación de la búsqueda.
- Asterisco: *, sustituyen caracteres similares al término que se aplica

La ecuación de búsqueda obtenida en primera instancia sin incluir criterios de exclusión fue la presentada a continuación:

Tabla 7.

Primera ecuación de búsqueda

TITLE-ABS-KEY ((“electromagnetic field” OR electrical field) AND (non-ionizing radiation*) OR (“risk” OR danger OR exposure) AND (“occupational exposure*” OR health effects OR disease) AND (“telecommunications” OR mobile phone OR “worker”))

De este primer análisis se encontró un total de 722 documentos, en ellos no se cuenta restricciones de idioma, tipos de documento, áreas de interés o año de publicación.

Como conclusión de este primer análisis se determinó que esta ecuación de búsqueda no es óptima por su extensión, lo que imposibilita hacer una revisión a profundidad de cada uno de los documentos publicados.

4.1.2 Desarrollo del protocolo de revisión

Para la construcción del estado del arte, el protocolo de revisión cumple un papel significativo, brindando soporte en la revisión de literatura previa, cuya finalidad depende de las fuentes que permiten acceso a todo el contenido de los artículos.

Internacionalmente existen dos principales bases de datos referenciales, la ISI Web of Science y Scopus, estas, proporcionan herramientas necesarias para desarrollar una investigación (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2017). Como base de datos se optó por hacer uso de la herramienta multidisciplinaria Scopus, la cual se encuentra disponible en la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander. A su vez, esta herramienta presenta un contenido robusto y confiable de información, lo cual facilita el ejercicio investigativo en cuestión.

Con base a las necesidades de información presentadas, se decide incluir criterios iniciales en ventana de tiempo no mayor a 5 años de publicado, tiempo recomendado por el director del trabajo de grado. Lo anterior, con el fin de depurar y clasificar la información según su grado de relevancia y dar paso a los avances científicos más novedosos en el eje de la temática. Del mismo modo, se aplica el criterio de exclusión en idioma, limitando el análisis a únicamente documentos en inglés y español y el tipo de documento (artículos).

En consecuencia, a los resultados obtenidos con la primera ecuación de búsqueda, se procede a definir los principales criterios de inclusión, exclusión y calidad definidos y presentados en la *Tabla 8*. Lo anterior, con el fin de refinar la ecuación de búsqueda y obtener documentos que tengan un enfoque alineado a la metodología de investigación propuesta.

Tabla 8.

Criterios de inclusión, exclusión y calidad.

Criterios	Descripción
Inclusión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Operador AND en los términos identificados como factor determinante. 2. Truncador * para los términos claves: “non-ionizing radiation” y “occupational exposure”
Exclusión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de documento: Artículos 2. Idioma: español e inglés 3. Acceso abierto 4. Fecha de publicación – Últimos 5 años
Calidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Exposición ocupacional 2. Exposición a radiación no ionizante 3. Efectos adversos sobre la salud de los trabajadores

Al definir los criterios necesarios, se determinó la segunda ecuación de búsqueda, la cual se observa en la *Tabla 9*.

Tabla 9.*Ecuación de búsqueda final.*

TITLE-ABS-KEY ("electromagnetic field" OR electrical field) AND (non-ionizing radiation*)
 OR ("risk" OR danger OR exposure) AND ("occupational exposure*" OR health effects OR
 disease) AND ("telecommunications" OR "worker")) AND (LIMIT-TO (OA,"all")) AND (
 LIMIT-TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (
 PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR
 LIMIT-TO (PUBYEAR,2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (
 LANGUAGE,"English"))

4.1.3 Ejecución: Identificación de la investigación

4.1.4.1 Selección y síntesis de los estudios. Aplicando los criterios de inclusión, exclusión y calidad a la cantidad de documentos obtenidos inicialmente, se logran identificar 42 artículos que cumplen con todas las especificaciones requeridas en la *Tabla 8*. Logrando el primer paso de la ejecución para el desarrollo del análisis bibliométrico. A continuación, en la *Tabla 10* se explica el proceso de selección de los artículos finales:

Tabla 10.*Proceso de selección de artículos finales.*

Criterios de inclusión y exclusión	Resultados a partir de la ecuación de búsqueda	Número de artículos
Acceso	Abierto	137
Tipos de documentos	Artículos	42
Idioma	Inglés	42
Fecha de publicación	2015 - 2020	42
Artículos finales		42

4.1.3.2 Evaluación de la calidad de los estudios. Dando cumplimiento a los criterios de calidad anteriormente expuestos en la *Tabla 10* se evalúa el aporte significativo de los 42 artículos clasificados con las temáticas de exposición ocupacional, efectos adversos sobre la salud y exposición a radiación no ionizante.

En este tercer criterio, se vinculan la totalidad de los artículos seleccionados ya que contribuyen de manera participativa con la investigación y cumplen con los criterios de inclusión y exclusión mencionados inicialmente.

4.1.3.3 Análisis de la información como resultado de la revisión. A través de la clasificación de los documentos por temáticas investigativas que predominaron en la revisión sistemática, se logró analizar que, aproximadamente el 67% de los artículos recopilados, hacen referencia a la salud de las personas con mayor incidencia a exposición de campos electromagnéticos, principalmente radiación no ionizante. Adicional a esto, aproximadamente el 28% de los documentos encontrados enfatizan en el riesgo laboral latente hacia los trabajadores del sector de las telecomunicaciones.

A través de la clasificación de los documentos por áreas temáticas investigativas que predominaron en la revisión sistemática, se logró analizar que, el 32% de los textos recopilados, hacen referencia a la salud de las personas expuestas dentro de los rangos de zonas urbanas; identificando síntomas, enfermedades y focos principales que generan afectación en la salud.

Otro de los grupos gruesos de información encontrados, hacen referencia a los niveles de distancia mínimos determinados por medio de normativa a exposición. Con un 19% de participación, el análisis de información arroja una notable participación de temas médicos relacionados a enfermedades terminales, por ejemplo, cáncer.

De los 42 documentos clasificados, aproximadamente el 90% de ellos se fundamenta en casos de estudio científico reales, apoyados en institutos médicos de gran reconocimiento y bajo el apoyo de diferentes gobiernos a nivel mundial.

Para finalizar, se destaca la importancia de los criterios de calidad aplicados en la revisión de documentación, permaneciendo así 42 artículos obtenidos en la fase anterior, como se detallan en la *Tabla 11*.

Tabla 11.

42 artículos seleccionados después de la aplicación de los criterios de calidad.

Autor(es)	Título	Año	Revista de publicación
Bellagamba I., Bocconi F., Ferrante R., Tombolini F., Marra F., Sarto M.S., Iavicoli S.	Workers' exposure assessment during the production of graphene nanoplatelets in r&d laboratory	2020	Nanomaterials
Tettamanti G., Auvinen A., Åkerstedt T., Kojo K., Ahlbom A., Heinävaara S., Elliott P., Schüz J., Deltour I., Kromhout H., Toledano M.B., Poulsen A.H., Johansen C., Vermeulen R., Feychting M., Hillert L.	Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS)	2020	Environment International
Ziegelberger G., Karipidis K., Abramowicz J., D'Inzeo G., Green A.C., Miller S., Okuno T., Stam R., Toivo T., Croft R., Feychting M., Hirata A., Marino C., Oftedal G., van Rongen E., Rösli M., Sienkiewicz Z., Watanabe S., International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)	Intended human exposure to non-ionizing radiation for cosmetic purposes	2020	Health Physics
Bagheri Hosseinabadi M., Khanjani N., Ebrahimi M.H., Mousavi S.H., Nazarkhani F.	Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of depression the role of oxidative stress"	2020	Journal of Occupational Health

Continuación Tabla 11.

	Electromagnetic field exposure in		
Stegé T.A.M., Bolte J.F.B., Claassen L., Timmermans D.R.M.	power plants: a qualitative assessment of work safety perceptions among employees	2020	Journal of Risk Research
	Standardised evaluation of the electric field for meeting safety aspects for workers according to		
Friedl K., Abart A., Schürhuber R., Schmutzger E.	directive 2013/35/EU and VEMF [Standardisierte Evaluierung des elektrischen Feldes für Arbeitnehmer/innen gemäß 2013/35/EU and VEMF]	2019	Elektrotechnik und Informationstechnik
	Magnetic fields trump oxygen in controlling the death of Erythro-		
Li Y., Héroux P.	Leukemia cells	2019	"Applied Sciences (Switzerland)"
	Development of a job-exposure		
Migault L., Bowman J.D., Kromhout H., Figuerola J., Baldi I., Bouvier G., Turner M.C., Cardis E., Vila J.	matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz–300 GHz)	2019	Annals of Work Exposures and Health
	5G wireless communication and		
Simkó M., Mattsson M.-O.	health effects—A pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 GHz	2019	International Journal of Environmental Research and Public Health

Continuación Tabla 11.

Velavan R., Bharanidharan S., Sheeba B.	EMF pollution - Causes, effects and protection	2019	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering
Sajedifar J., Nassiri P., Monazzam M.R., Shamsipour M., Ramezani R.	The effect of battery charge levels of Mobile phone on the amount of Electromagnetic waves emission	2019	Journal of Environmental Health Science and Engineering
Panagopoulos D.J.	Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation	2019	General Physiology and Biophysics
Turner M.C., Gracia-Lavedan E., Momoli F., Langer C.E., Castaño-Vinyals G., Kundi M., Maule M., Merletti F., Sadetzki S., Vermeulen R., Albert A., Alguacil J., Aragoes N., Badia F., Bruchim R., Carretero G., Kojimahara N., Lacour B., Morales-Suarez-Varela M., Radon K., Remen T., Weinmann T., Yamaguchi N., Cardis E.	Nonparticipation Selection Bias in the MOBI-Kids Study	2019	"Epidemiology"
Vecsei Z., Knakker B., Juhász P., Thuróczy G., Trunk A., Hernádi I.	Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance	2018	Scientific Reports

Continuación Tabla 11.

Politański P., Aniończyk H., Gadzicka E., Bortkiewicz A., Zmyślony M.	Electromagnetic fields exposure assessment among workers at broadcast centers in Poland	2018	Medycyna pracy
Vila J., Turner M.C., Gracia-Lavedan E., Figuerola J., Bowman J.D., Kincl L., Richardson L., Benke G., Hours M., Krewski D., McLean D., Parent M.-E., Sadetzki S., Schlaefer K., Schlehofer B., Schüz J., Siemiatycki J., van Tongeren M., Cardis E., INTEROCC Study Group	Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach	2018	"Environment International"
Zarakovitis C.C., Ni Q., Kourtis M.-A.	Enabling radioprotection capabilities in next generation wireless communication systems: An ecological green approach	2018	Transactions on Emerging Telecommunications Technologies
Vecsei Z., Thuróczy G., Hernádi I.	The effect of a single 30-min long term evolution mobile phone-like exposure on thermal pain threshold of young healthy volunteers	2018	International Journal of Environmental Research and Public Health
Birks L.E., Struchen B., Eeftens M., van Wel L., Huss A., Gajšek P., Kheifets L., Gallastegi M., Dalmau-Bueno A., Estarlich M., Fernandez M.F., Meder I.K., Ferrero A., Jiménez-Zabala A., Torrent M., Vrijkkotte T.G.M., Cardis E., Olsen J., Vali? B.	Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe	2018	Environment International

Continuación Tabla 11.

Huss A., Spoerri A., Egger M., Kromhout H., Vermeulen R., for the Swiss National Cohort	Occupational extremely low frequency magnetic fields (ELF- MF) exposure and hematolymphopoietic cancers – Swiss National Cohort analysis and updated meta-analysis	2018	Environmental Research
Sannino A., Romeo S., Scarfi M.R., Massa R., d'Angelo R., Petrillo A., Cerciello V., Fusco R., Zeni O.	Exposure Assessment and Biomonitoring of Workers in Magnetic Resonance Environment: An Exploratory Study	2017	Frontiers in Public Health
Kurjane N., Zvagule T., Reste J., Martinsone Z., Pavlovskā I., Martinsone I., Vanadzins I.	The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees	2017	Journal of Nanoparticle Research
Litchfield I., van Tongeren M., Sorahan T.	Radiofrequency exposure amongst employees of mobile network operators and broadcasters	2017	Radiation Protection Dosimetry
Diez L., Agüero R., Muñoz L.	Electromagnetic field assessment as a smart city service: The SmartSantander use-cas	2017	Sensors (Switzerland)
Peters T.L., Kamel F., Lundholm C., Feychting M., Weibull C.E., Sandler D.P., Wiebert P., Sparén P., Ye W., Fang F.	Occupational exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis	2017	Occupational and Environmental Medicine
Zhang D., Zhang Y., Zhu B., Zhang H., Sun Y., Sun C.	Resveratrol may reverse the effects of long-term occupational exposure to electromagnetic fields on workers of a power plant	2017	Oncotarget

Continuación Tabla 11.

	Investigations of SAR distributions and temperature elevation on human body at 60GHz with corrugated antipodal linear tapered slot antenna	2017	Progress In Electromagnetics Research M
Shrivastava P., Rama Rao T.			
Wood A.W., Lajevardipour A., McIntosh R.L.	Lessons and perspectives from a 25-year bioelectromagnetics research program	2016	International Journal of Environmental Research and Public Health
Burgess A.P., Fouquet N.C., Seri S., Hawken M.B., Heard A., Neasham D., Little M.P., Elliott P.	Acute Exposure to Terrestrial Trunked Radio (TETRA) has effects on the electroencephalogram and electrocardiogram, consistent with vagal nerve stimulation	2016	Environmental Research
Baliatsas C., van Kamp I., Bolte J., Kelfkens G., van Dijk C., Spreuuenberg P., Hooiveld M., Lebret E., Yzermans J.	Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study	2016	Science of the Total Environment
Schoeni A., Roser K., Bürgi A., Rössli M.	Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: A prospective cohort study	2016	Environmental Health: A Global Access Science Source
Amin A.I., Hegazy N.M., Ibrahim K.S., Mahdy-Abdallah H., Hammouda H.A.A., Shaban E.E.	Thyroid hormone indices in computer workers with emphasis on the role of zinc supplementation	2016	Macedonian Journal of Medical Sciences

Continuación Tabla 11.

Tourab W., Babouri A.	Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines	2016	Safety and Health at Work
Kunt H., ?entürk I., Gönül Y., Korkmaz M., Ahsen A., Hazman Ö., Bal A., Genç A., Songur A.	Effects of electromagnetic radiation exposure on bone mineral density, thyroid, and oxidative stress index in electrical workers	2016	OncoTargets and Therapy
Romeo S., Sannino A., Scarfi M.R., Massa R., Dangelo R., Zeni O.	Lack of effects on key cellular parameters of MRC-5 human lung fibroblasts exposed to 370 mT static magnetic field	2016	Scientific Reports
Malek F., Rani K.A., Rahim H.A., Omar M.H.	Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians	2015	Scientific Reports
Vila J., Bowman J.D., Richardson L., Kincl L., Conover D.L., McLean D., Mann S., Vecchia P., Van Tongeren M., Cardis E.	A Source-based Measurement Database for Occupational Exposure Assessment of Electromagnetic Fields in the INTEROCC Study: A Literature Review Approach	2015	Annals of Occupational Hygiene
Bransburg-Zabary S., Virozub A., Mimouni F.B.	Human milk warming temperatures using a simulation of currently available storage and warming methods	2015	PLoS ONE

Continuación Tabla 11.

Huss A., Spoerri A., Egger M., Kromhout H., Vermeulen R., SWISS NATIONAL COHORT	Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: The Swiss National Cohort	2015	Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration
Jayasumana C., Paranagama P., Agampodi S., Wijewardane C., Gunatilake S., Siribaddana S.	Drinking well water and occupational exposure to Herbicides is associated with chronic kidney disease, in Padavi- Sripura, Sri Lanka -No section-	2015	Environmental Health: A Global Access Science Source
Zradziński P.	Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields	2015	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics
Eltiti S., Wallace D., Russo R., Fox E.	Aggregated data from two double- blind base station provocation studies comparing individuals with idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields and controls	2015	Bioelectromagnetics

4.1.4 Reporte y difusión

Corresponde a la construcción del estado del arte a partir de los documentos extraídos en el capítulo 4. Mediante el análisis e interpretación de cada uno de ellos, se procede a la elaboración del informe final, el cual será desarrollado en el capítulo 5 del presente libro.

4.2 Análisis y clasificación de la información como resultado de la revisión

Para lograr un análisis más preciso de los 42 artículos seleccionados, se realiza una revisión preliminar donde se observa de manera clara el enfoque de cada uno de los autores, concluyendo que, no todos llevaron un enfoque común, es decir, dentro de los 42 artículos predominan diferentes temáticas que conforman el cuerpo de la investigación.

Dado lo anterior, se procede a clasificar en 3 subtemas de información, ya que, de manera subjetiva es considerado relevante para la organización del estado del arte:

- Exposición ocupacional a campos electromagnéticos. Frecuencias de baja o muy baja intensidad, es decir, entre 0 Hz y 300 GHz. Los resultados del análisis toman como eje la discusión y contraste de opiniones de los cientos de estudios aplicados a trabajadores del sector de las telecomunicaciones a nivel mundial. Por otra parte, se reconoce las fuentes generadoras de dichas radiaciones, de las cuales se identifica que el sector con mayor exploración en el tema es el área de las telecomunicaciones.
- Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnético. Este subtema, presenta un enfoque en áreas temáticas de medicina y

ciencias ambientales, donde se analiza los posibles efectos adversos sobre la salud ocasionados por exposición a campos electromagnéticos. Es válido destacar entre los posibles efectos en la salud de la población expuesta: cáncer (principalmente Leucemia y sus tipos), cambios neuroconductuales, infertilidad, entre otros.

- Relación de las enfermedades asociadas con la exposición ocupacional a campos electromagnéticos y sector de las telecomunicaciones.

5. Estado del arte de los efectos adversos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en trabajadores del sector de las telecomunicaciones

Para obtener una visión con mayor objetividad en los datos obtenidos del análisis del capítulo anterior, se realiza una investigación con base en un análisis bibliométrico que posibilita tener una revisión de literatura de carácter cuantitativa.

5.1 Análisis bibliométrico

Teniendo en cuenta los 42 artículos mencionados anteriormente se realizó el análisis bibliométrico haciendo uso del software especializado Web of Science (WoS), perteneciente al Institute for Scientific Information (ISI) con la información obtenida en la base de datos Scopus; lo anterior con el fin de valorar la acción científica por medio de indicadores de actividad. A su vez, se realizó una revisión estadística y de esta manera se logró relacionar y evaluar el

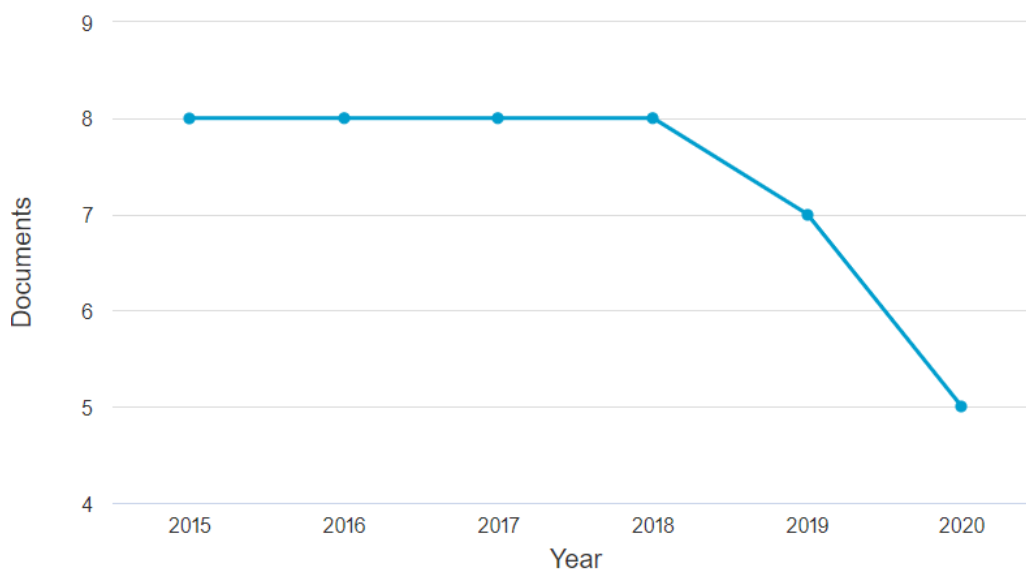
comportamiento de la investigación según los artículos publicados por año, país, palabras claves, autor y área temática.

5.1.1 Análisis de publicaciones por año

Para iniciar el análisis, se observó que del año 2015 al 2018 el objeto de investigación presentó un comportamiento uniforme. Sin embargo, en el año 2019 se observa una reducción en el número de documentos objetados con tan solo 7 publicaciones durante el año. En el año 2020 se cierra la ventana de tiempo con un número de 5 publicaciones. Esto infiere que la evidencia científica recolectada hasta el momento sobre el tema puede llegar a ser un limitante para los resultados de la investigación. (Ver Figura 5)

Figura 5.

Análisis de publicaciones por año



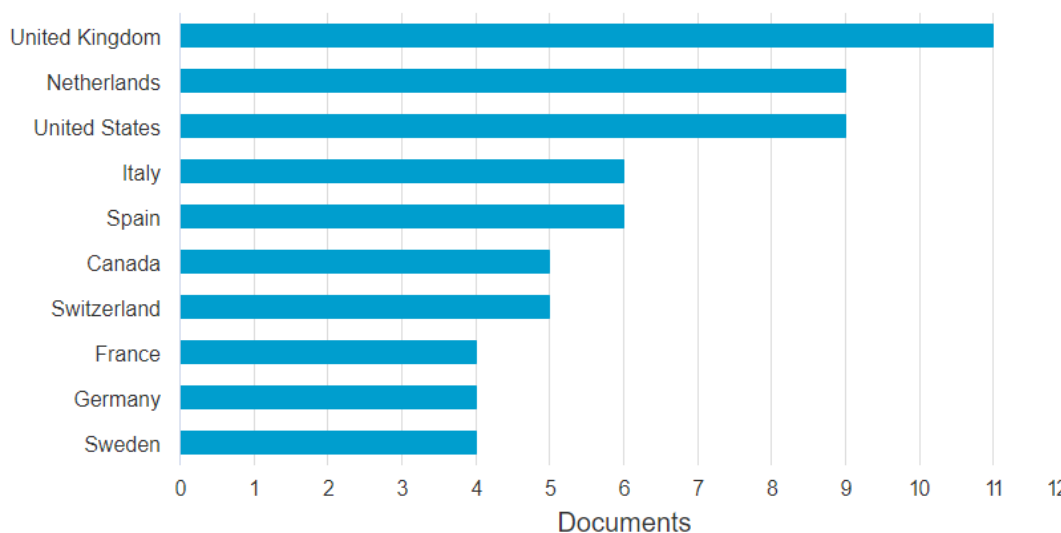
Nota: Adaptado de la herramienta multidisciplinaria Scopus.

5.1.2 Análisis de publicaciones por país

Por otro lado, los países que destacan en cuanto a producción científica son Reino Unido, Holanda, y Estados Unidos; seguidos de países Italia, España, Canadá y Suiza. En total, se encontró la participación de 35 países con al menos 1 publicación realizada, lo que excede el número de artículos seleccionados para la revisión (42), ya que son publicaciones realizadas entre dos o más países.

Figura 6.

Análisis de publicaciones por país



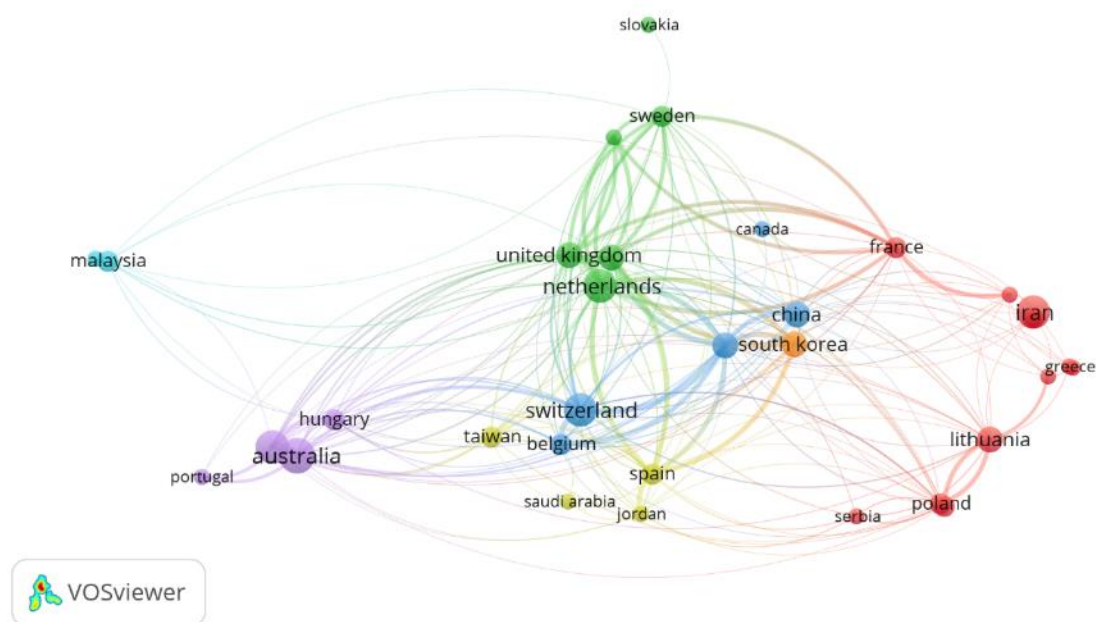
Nota: Adaptado de la herramienta multidisciplinaria Scopus

Gracias al diagrama de relaciones presentado en la *Figura 7* se brinda un esquema de las asociaciones existentes entre países para la producción en el tema. A través de estas redes de

colaboración se permite el intercambio de información con países de mayor avance en el tema y el enfoque a nuevas ramas investigativas.

Figura 7.

Diagrama de relaciones producción científica entre países



Nota: Adaptado del software Web of Science.

5.1.3 Análisis de publicaciones por revistas

De manera similar al análisis anterior, se encontró la participación de más de 20 revistas con al menos 1 publicación. Sin embargo, este número excede la cantidad de artículos

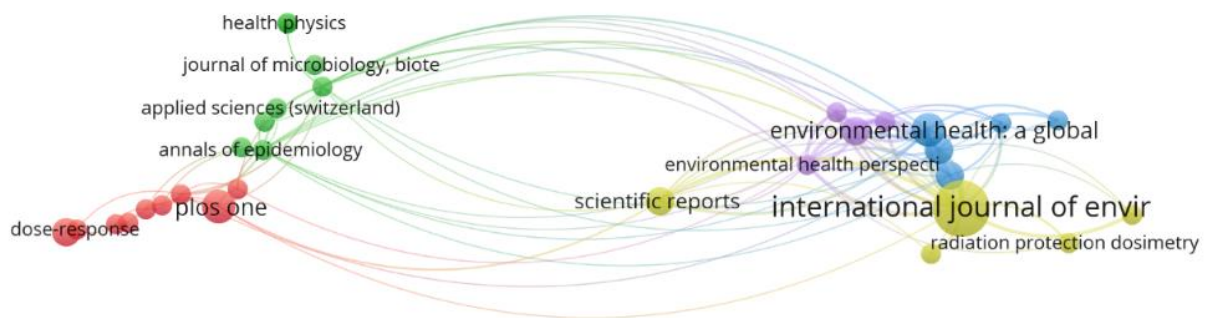
seleccionados para la revisión (42), ya que son artículos relacionados respecto a coautoría. Esto concuerda con el comportamiento al que refiere la Ley de Bradford o también conocida como la Ley de dispersión de la literatura científica, ya que una proporción significativa de las publicaciones, se encuentran agrupadas en un pequeño número de revistas (Ecured contributors, 2019).

Las revistas más sobresalientes son: “International Journal of Environmental Research and Public Health” , “Environmental Health A Global Access Science Source” , “Plos One” , “American Journal of Emidemiology" y “BMJ Open” .

A continuación, se presenta el diagrama de relaciones en la *Figura 8* brindando un esquema de las asociaciones existentes entre revistas.

Figura 8.

Diagrama de relaciones producción científica entre revistas.



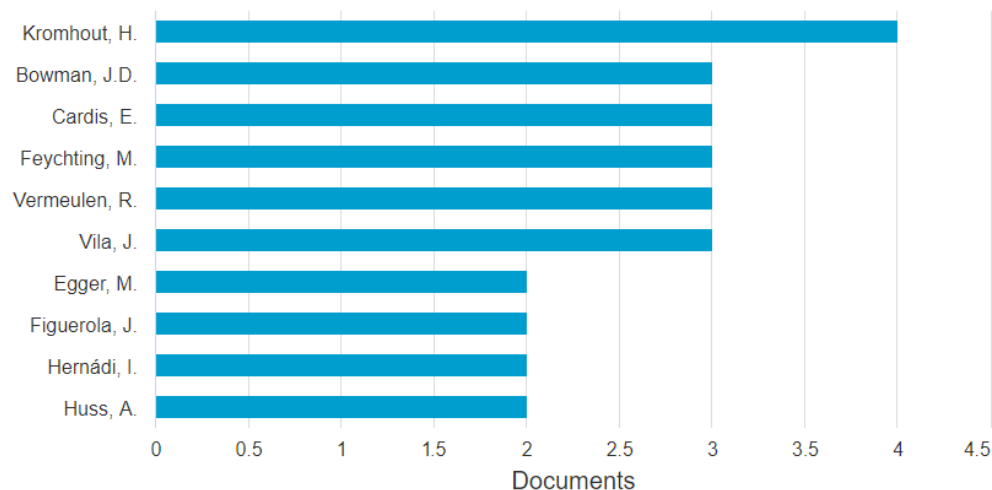
Nota: Adaptado del software Web of Science.

5.1.4 *Análisis de publicaciones por autor*

Con el fin de evaluar la cantidad de artículos publicados por autor, se observa la productividad de estos en el tema objeto de investigación, como se observa en la *Figura 9* se identifica la cantidad de publicaciones realizadas de los 10 autores con mayor participación. *Kromhout, H.* profesor asociado al Instituto Swiss Tropical – and Public Health cuenta con un total de 4 artículos publicados, seguido por *Bowman J. D.*, *Cardis E.*, *Feychting M.*, *Vermeulen R.* y *Vila J.* todos con 3 artículos publicados. En total se cuenta con la participación de más de 50 autores en las publicaciones del eje temático, resaltando que aproximadamente el 90% de los autores cuentan con una sola publicación para el tema objeto de investigación, esto quiere decir, que hay un interés común por diferentes personas alrededor del mundo en el tema.

Figura 9.

Los 10 autores con mayor participación investigativa

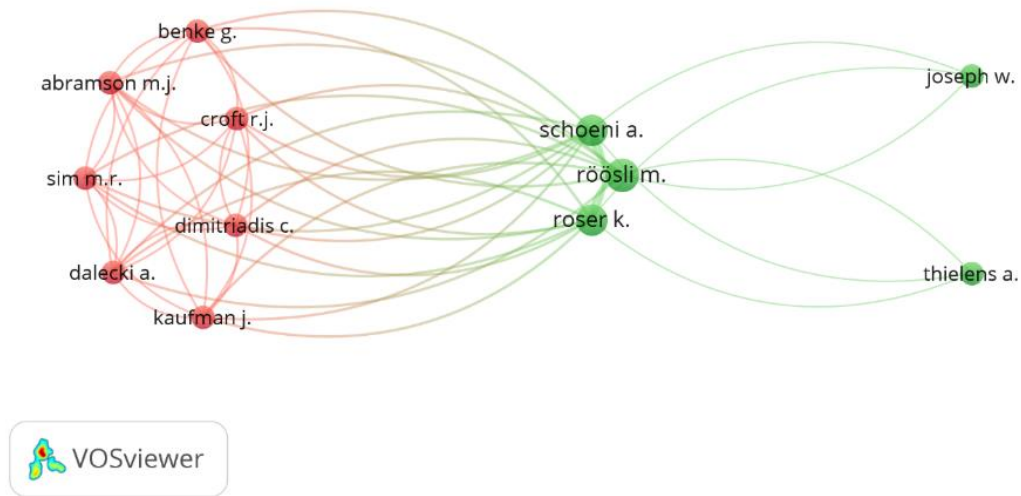


Nota: Adaptado de la herramienta multidisciplinaria Scopus

Con el fin de facilitar se presenta a continuación en la *Figura 10* el diagrama de relaciones entre los autores más representativos con la característica de ser citado en 2 artículos como mínimo:

Figura 10.

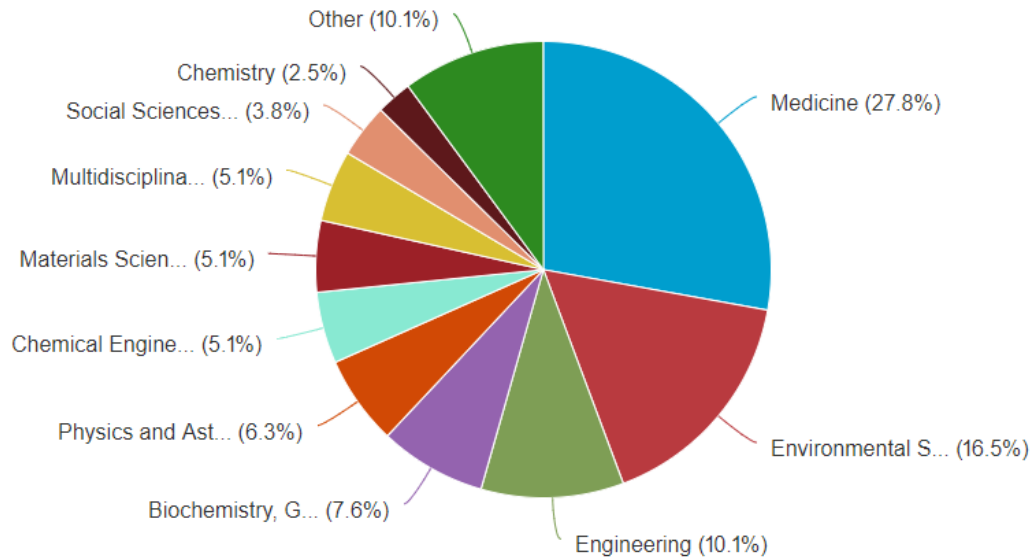
Diagrama de relaciones producción científica por autor



Nota: Adaptado del software Web of Science

5.1.5 Análisis de publicaciones por área temática

Continuando con el análisis, se observa en la *Figura 11* las áreas temáticas con mayor participación en el tema investigativo, destacándose las áreas de Medicina (35%), Medio ambiente (16,5%), Ingenierías (10,1%), entre otras. A través de este análisis, podemos identificar las bases fundamentales para áreas interesadas en el desarrollo de este proyecto, apuntando a un crecimiento en las ramas investigativas de seguridad y salud en el trabajo para empleados del sector de las telecomunicaciones.

Figura 11.*Análisis de artículos por área temática.**Nota: Adaptado de la herramienta multidisciplinaria Scopus/***5.1.6 Análisis por palabras más usadas**

Para finalizar, se pretende encontrar las palabras claves más usadas en los 42 artículos seleccionados, con el fin de poder identificar las familias de palabras que tengan mayor impacto en el desarrollo investigativo. Como se observa en la *Tabla 12* las palabras más utilizadas son aquellas enfocadas a la fuente de exposición y de manera general la persona expuesta.

Tabla 12.*Palabras más utilizadas*

Palabras claves	N° de Documentos	Palabras claves	N° de Documentos
Human	31	Telecommunication	10
Electromagnetic Fields	27	Adverse Effects	8
Humans	26	Adverse Event	7
Palabras claves	N° de Documentos	Palabras claves	N° de Documentos
Electromagnetism	20	Radiation Exposure	7
Occupational Exposure	17	Electromagnetic Field Effects	6
Controlled Study	16	Electromagnetic Radiation	6
Electromagnetic Field	14	Analysis	5
Environmental Exposure	11	Case Control Study	5
Priority Journal	11	Risk Assessment	5
Radiofrequency Radiation	10	Worker	5

5.2 Revisión de la literatura

A continuación, se presentan los hallazgos de la revisión de literatura de los 42 artículos seleccionados en la investigación previa, donde se ha tomado como enfoque de análisis los objetivos planteados. Además, se plantea una discusión de aportes de cada autor, la cual denota el contraste de los resultados de estudios de investigación planteados en años anteriores.

Dando continuidad a la Sección 4.2 *Análisis y clasificación de la información como resultado de la revisión* se presenta la clasificación dada según la temática de cada uno de los artículos seleccionados: Exposición ocupacional a campos electromagnéticos, enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos y relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones. Lo anterior, con el fin de facilitar para el lector el análisis de la revisión de literatura.

Para este análisis se procede a clasificar los 42 artículos en tres tablas diferentes, donde cada una corresponde a un subgrupo de temática.

Tabla 13.*Clasificación de artículos - Revisión de la literatura*

Title	Source title	S1	S2	S3
Workers' exposure assessment during the production of graphene nanoplatelets in r&d laboratory	Nanomaterials	X		
Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS)	Environment International		X	
Intended human exposure to non-ionizing radiation for cosmetic purposes	Health Physics	X		
Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of depression the role of oxidative stress"	Journal of Occupational Health		X	X
Electromagnetic field exposure in power plants: a qualitative assessment of work safety perceptions among employees	Journal of Risk Research		X	X
Standardised evaluation of the electric field for meeting safety aspects for workers according to directive 2013/35/EU and VEMF [Standardisierte Evaluierung des elektrischen Feldes für Arbeitnehmer/innen gemäß 2013/35/EU and VEMF]	Elektrotechnik und Informationstechnik			X
Magnetic fields trump oxygen in controlling the death of Erythro-Leukemia cells	"Applied Sciences (Switzerland)"		X	
Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz–300 GHz)	Annals of Work Exposures and Health	X		
5G wireless communication and health effects—A pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 GHz	International Journal of Environmental Research and Public Health			X
EMF pollution - Causes, effects and protection	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering	X		

Continuación Tabla 13.

The effect of battery charge levels of Mobile phone on the amount of Electromagnetic waves emission	Journal of Environmental Health Science and Engineering	X	
Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation	General Physiology and Biophysics		X
Nonparticipation Selection Bias in the MOBI-Kids Study	"Epidemiology"	X	
Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance	Scientific Reports		X
Electromagnetic fields exposure assessment among workers at broadcast centers in Poland	Medycyna pracy		X
Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach	"Environment International"		X
Enabling radioprotection capabilities in next generation wireless communication systems: An ecological green approach	Transactions on Emerging Telecommunications Technologies		X
The effect of a single 30-min long term evolution mobile phone-like exposure on thermal pain threshold of young healthy volunteers	International Journal of Environmental Research and Public Health	X	
Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe	Environment International	X	
Occupational extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) exposure and hematolymphopoietic cancers – Swiss National Cohort analysis and updated meta-analysis	Environmental Research		X X
Exposure Assessment and Biomonitoring of Workers in Magnetic Resonance Environment: An Exploratory Study	Frontiers in Public Health		X
The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees	Journal of Nanoparticle Research		X X

Continuación Tabla 13.

Radiofrequency exposure amongst employees of mobile network operators and broadcasters	Radiation Protection Dosimetry		X
Electromagnetic field assessment as a smart city service: The SmartSantander use-cas	Sensors (Switzerland)	X	
Occupational exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis	Occupational and Environmental Medicine		X X
Resveratrol may reverse the effects of long-term occupational exposure to electromagnetic fields on workers of a power plant	Oncotarget		X
Investigations of SAR distributions and temperature elevation on human body at 60GHz with corrugated antipodal linear tapered slot antenna	Progress In Electromagnetics Research M		X
Lessons and perspectives from a 25-year bioelectromagnetics research program	International Journal of Environmental Research and Public Health	X	
Acute Exposure to Terrestrial Trunked Radio (TETRA) has effects on the electroencephalogram and electrocardiogram, consistent with vagal nerve stimulation	Environmental Research		X
Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study	Science of the Total Environment		X
Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: A prospective cohort study	Environmental Health: A Global Access Science Source		X
Thyroid hormone indices in computer workers with emphasis on the role of zinc supplementation	Macedonian Journal of Medical Sciences		X

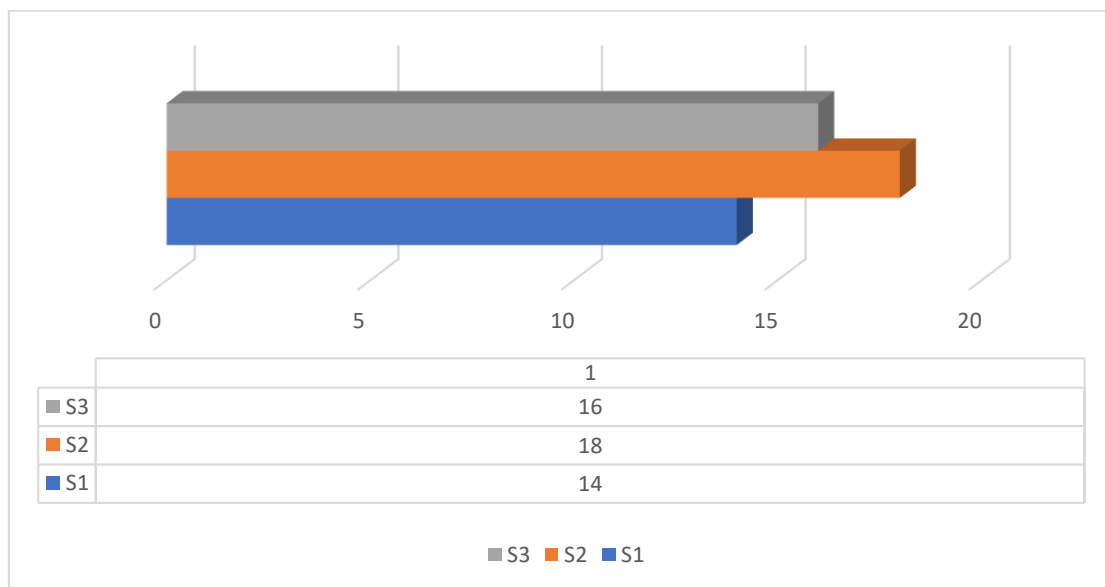
Continuación Tabla 13.

Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines	Safety and Health at Work			X
Effects of electromagnetic radiation exposure on bone mineral density, thyroid, and oxidative stress index in electrical workers	OncoTargets and Therapy			X
Lack of effects on key cellular parameters of MRC-5 human lung fibroblasts exposed to 370 mT static magnetic field	Scientific Reports		X	
Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians	Scientific Reports	X	X	
A Source-based Measurement Database for Occupational Exposure Assessment of Electromagnetic Fields in the INTEROCC Study: A Literature Review Approach	Annals of Occupational Hygiene			X
Human milk warming temperatures using a simulation of currently available storage and warming methods	PLoS ONE	X		
Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: The Swiss National Cohort	Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration			X
Drinking well water and occupational exposure to Herbicides is associated with chronic kidney disease, in Padavi-Sripura, Sri Lanka -No section-	Environmental Health: A Global Access Science Source		X	
Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	X		
Aggregated data from two double-blind base station provocation studies comparing individuals with idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields and controls	Bioelectromagnetics	X		

En la figura 12 se presenta la relación de los tres subgrupos de clasificación y el número de artículos totales en cada uno de ellos, a través de un diagrama de barras. Lo anterior, con el fin de obtener una visión grafica del grupo con mayor porcentaje representativo para la investigación.

Figura 12.

Diagrama de relacionamiento entre subgrupos de clasificación.



5.2.1 Subgrupo 1: Exposición ocupacional a campos electromagnéticos

En la *Tabla 14* se representan aquellos artículos cuyo eje es abordado desde el primer subgrupo temático: Exposición ocupacional a campos electromagnéticos.

Tabla 14.*Subgrupo Exposición ocupacional a campos electromagnéticos*

Title	Source title
Workers' exposure assessment during the production of graphene nanoplatelets in r&d laboratory	Nanomaterials
Intended human exposure to non-ionizing radiation for cosmetic purposes	Health Physics
Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz–300 GHz)	Annals of Work Exposures and Health
EMF pollution - Causes, effects and protection	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering
The effect of battery charge levels of Mobile phone on the amount of Electromagnetic waves emission	Journal of Environmental Health Science and Engineering
Nonparticipation Selection Bias in the MOBI-Kids Study	"Epidemiology"
The effect of a single 30-min long term evolution mobile phone-like exposure on thermal pain threshold of young healthy volunteers	International Journal of Environmental Research and Public Health
Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe	Environment International
Electromagnetic field assessment as a smart city service: The SmartSantander use-cas	Sensors (Switzerland)

Continuación Tabla 14.

Lessons and perspectives from a 25-year bioelectromagnetics research program	International Journal of Environmental Research and Public Health
Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians	Scientific Reports
Human milk warming temperatures using a simulation of currently available storage and warming methods	PLoS ONE
Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics
Aggregated data from two double-blind base station provocation studies comparing individuals with idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields and controls	Bioelectromagnetics

El primer subgrupo este compuesto por 14 artículos de los 42 totales. En ellos se logra identificar la participación de publicaciones científicas con área temática en salud, ingeniería y medio ambiente. Algunos de los principales temas encontrados en este subgrupo corresponden a consumo, ambientes y utilización de energía eléctrica, poblaciones expuestas a campos electromagnéticos, trabajos expuestos a la utilización y generación de energía, fuentes generadoras de campos electromagnéticos, biomagnetismo, entre otros.

En la *Figura 13* se observa la nube de palabras claves identificadas en la depuración del primer segmento.

Figura 13.*Nube de palabras subgrupo 1.*

Los campos electromagnéticos, o EMF, son omnipresentes en nuestra vida diaria. Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF MF) son generados por cualquier dispositivo que utilice corriente eléctrica. Especialmente en situaciones de trabajo que involucran escáneres de resonancia magnética, equipos de soldadura, calentadores de inducción y plantas de energía, son conocidos por sus intensidades de campo potencialmente altas. Estas intensidades de campo elevadas pueden provocar efectos adversos para la salud si se toman medidas preventivas insuficientes. (Thomas AM Stege, John FB Bolte, Liesbeth Claassen y Danielle RM Timmermans, 2020)

Se han evaluado multitud de datos de registros de mortalidad e incidencia de enfermedades en trabajadores en ocupaciones industriales con exposición alta a CEM, como

los soldadores, algunos trabajadores de compañías eléctricas, etc. Son numerosos los estudios publicados con resultados poco consistentes, aunque en su conjunto indican un pequeño aumento del riesgo de padecer leucemia.

En un metaanálisis de 38 estudios (Kheifets et al. 1997) se encontró un riesgo de 1,2 (95% IC 1,1-1,3) para leucemia y 1,2 (95% IC 1,1-1,3) para cáncer de cerebro. Algunos de estos estudios incluyen miles de trabajadores, como por ejemplo el estudio sobre 13.800 trabajadores (Savitz y Loomis 1995) de empresas eléctricas en EE.UU. en el cual no se encontraron evidencias de una asociación con la leucemia, aunque los resultados “sí sugieren que hay una relación con el cáncer de cerebro”. En otro estudio de 223.292 trabajadores de compañías eléctricas en Francia y Canadá (Theriault y col. 1994) se evaluaron 29 tipos de neoplasias y se encontró un aumento del riesgo en un tipo de leucemia (mielocítica aguda) y un tipo poco frecuente de cáncer de cerebro (astrocitoma).

En otra de las investigaciones analizadas, elaborada por la Universidad Dumlupınar en Kütahya. Se realizó un estudio a un grupo de 47 trabajadores eléctricos empleados en las instalaciones de EGC, Kütahya. Este estudio fue apoyado por la Unidad de Proyectos de Investigación Científica de la Universidad de AfyonKocatepe (Proyecto no: 12.TIP.11). El promedio de edad y el período medio de trabajo de los trabajadores eléctricos se determinaron en 38,4 años y 15,9 años, respectivamente; el promedio de edad y el período de trabajo promedio del grupo de control fueron 39,1 años y 17,2 años, respectivamente. El límite de exposición profesional es 500 μ T para un campo magnético. (ICNIRP, 1998) La exposición más alta se encontró en trabajadores eléctricos por un valor de 0,161 μ T en los estudios realizados en diferentes grupos ocupacionales. (Zaffanella LE, Kalton GW., 1998) A pesar de que no se pudieron realizar mediciones en las áreas de la subestación por medidas de seguridad y riesgo de accidente,

se encontró exposición diaria promedio $0.53 \mu T$ en las mediciones de CEM realizadas en los lugares de trabajo y zonas de paso.

Se sabe que las líneas eléctricas de alto voltaje generan campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-EMF). Desde 1970, una serie de investigaciones han investigado los impactos potencialmente peligrosos de los ELF-EMF en el cuerpo humano, pero las conclusiones siguen siendo controvertidas (Bates MN, 1991). Con el creciente proceso de urbanización, las plantas de energía eléctrica están ampliamente establecidas, lo que generó preocupaciones del público sobre los efectos potencialmente peligrosos de los ELF-EMF en los trabajadores y residentes cercanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado a los ELF-EMF como "posibles carcinógenos para los seres humanos" en 2002, porque los resultados anteriores sugirieron una asociación entre ELF-EMF y la leucemia infantil.

Otra de las investigaciones más influyentes fue realizada por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica en China, donde se estudió a 1080 personas trabajadores de una planta de energía. En este estudio, los niveles urinarios de 8-OHdG y F2-isoprostano se elevaron en trabajadores expuestos a líneas eléctricas de alto voltaje en comparación con la referencia, también, Los trabajadores sugieren que el ELF-EMF a largo plazo aumenta el estrés oxidativo en esos trabajadores y puede eventualmente desarrollar cáncer. De manera consistente, varios estudios previos han demostrado que el estrés oxidativo inducido por ELF-EMFs puede conducir a daño en el ADN (Wolf FI, TorselloA, Tedesco B, Fasanella S, Boninsegna A, D'Ascenzo M, Grassi C, Azzena GB, Cittadini A., 2005) de una manera dependiente de la dosis (Ivancsits S, Diem E, Jahn O, Rudiger HW., 2003). Estos resultados fueron contradichos por varios in vitro estudios que

muestran una ausencia de daño en el ADN en células expuestas a un campo electromagnético de 60 Hz (Jin YB, Choi SH, Lee JS, Kim JK, Lee JW, Hong SC, Myung SH, Lee YS., 2014).

En una investigación realizada por el Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM), Bilthoven en Países Bajos, se analizó cómo los trabajadores de las centrales eléctricas perciben la seguridad laboral en relación con los CEM, con el fin de determinar el curso de acción apropiado en materia de seguridad y educación en el trabajo. Para esto, se tomó una muestra de 15 adultos hombres con edades que oscilaban entre los 33 y los 63 años en el momento de la entrevista (durante el verano y el otoño de 2017), con un promedio (redondeado) de 51 años. Esta investigación pretendía dar respuesta a la pregunta de ¿Cómo perciben los empleados de las centrales eléctricas la seguridad laboral con respecto a los CEM? En dicha investigación, se preguntó a todos los participantes qué riesgos estaban involucrados con su trabajo. Se mencionaron varios riesgos, entre ellos calor, alta presión, electrocución, caídas y tropiezos, sustancias tóxicas, material particulado, riesgos mecánicos y ruido. Aunque todos los participantes eran conscientes de la presencia de CEM dentro de su empresa, menos de la mitad de ellos mencionaron los CEM como un riesgo relevante para ellos mismos. Por ejemplo, un participante mencionó varios riesgos además de los CEM. Es válido recalcar que dicha investigación fue netamente de un enfoque cualitativo.

5.2.2 Subgrupo 2: Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos

En la *Tabla 15* se representan aquellos artículos cuyo eje es abordado desde el primer subgrupo temático: Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos.

Tabla 15.

Subgrupo Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos

Title	Source title
Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS)	Environment International
Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of depression the role of oxidative stress"	Journal of Occupational Health
Electromagnetic field exposure in power plants: a qualitative assessment of work safety perceptions among employees	Journal of Risk Research
Magnetic fields trump oxygen in controlling the death of Erythro-Leukemia cells	"Applied Sciences (Switzerland)"
Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation	General Physiology and Biophysics
Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance	Scientific Reports
Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach	"Environment International"

Continuación Tabla 15.

Occupational extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) exposure and hematolymphopoietic cancers – Swiss National Cohort analysis and updated meta-analysis	Environmental Research
The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees	Journal of Nanoparticle Research
Occupational exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis	Occupational and Environmental Medicine
Resveratrol may reverse the effects of long-term occupational exposure to electromagnetic fields on workers of a power plant	Oncotarget
Investigations of SAR distributions and temperature elevation on human body at 60GHz with corrugated antipodal linear tapered slot antenna	Progress In Electromagnetics Research M
Acute Exposure to Terrestrial Trunked Radio (TETRA) has effects on the electroencephalogram and electrocardiogram, consistent with vagal nerve stimulation	Environmental Research
Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study	Science of the Total Environment
Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: A prospective cohort study	Environmental Health: A Global Access Science Source
Lack of effects on key cellular parameters of MRC-5 human lung fibroblasts exposed to 370 mT static magnetic field	Scientific Reports

Continuación Tabla 15.

Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians	Scientific Reports
Drinking well water and occupational exposure to Herbicides is associated with chronic kidney disease, in Padavi-Sripura, Sri Lanka -No section-	Environmental Health: A Global Access Science Source

Dando continuidad al análisis de revisión de literatura se observa que el subgrupo 2 esta integrado por 18 de los 42 artículos, donde predominan temáticas como lo son salud, cáncer, mitigación del riesgo, evaluación de evidencias científicas, medicina, genética y biología molecular, salud pública, exposición ocupacional, entre otros.

En la *Figura 14* se observa la nube de palabras claves identificadas en la depuración del segundo segmento.

Figura 14.*Nube de palabras subgrupo 2*

Las ondas electromagnéticas (EMW) dañan los tejidos del cuerpo mediante el calentamiento y las reacciones químicas cambiantes. (Chang K, ChangWHS, Huang S, Huang S, Shih C., 2005)

Los EMW causan daños por calor; Los efectos peligrosos aparecen en los tejidos por la exposición a largo plazo a EMW bajos debido a cambios químicos. Parte de la energía esparcida por la EMW debido al efecto del calor es absorbida por el cuerpo humano y la acumulación de calor ocurre dentro del cuerpo. Tal calor puede causar resultados no deseados. El segundo efecto es la ruptura de moléculas y átomos que están unidos entre sí en un organismo vivo. (Chang K, ChangWHS, Huang S, Huang S, Shih C., 2005)

Desde 1979, organismos oficiales como la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos, el Instituto Frances de Salud e Investigación Médica, el Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido, el Centro de Investigaciones Energética, Medioambientales y Tecnológicas de España, entre otros; han centrado sus esfuerzos en responder al interrogante si la exposición a campos electromagnéticos de frecuencias industriales puede estar relacionados a alguna enfermedad. Varios años atrás, algunos tipos de cáncer (especialmente leucemia), neoplasias en adultos y niños, infertilidad, tumores cerebrales, fallas en el sistema nervioso, e incluso la muerte, han sido temas atribuidos a la exposición directa e indirecta a campos electromagnéticos, sin embargo, las conclusiones alcanzadas por los principales organismos de comunicación de todo el mundo, no ha logrado una conclusión definitiva que supongan un riesgo para la salud pública o específicamente de los trabajadores en todo el mundo.

Finalmente, se realiza una clasificación de las enfermedades que tuvieron mayor citación en los 18 artículos (*Ver Tabla 16*).

Tabla 16.

Clasificación de enfermedades según el artículo mencionado

Title	Cáncer	Esterilidad	Trastornos		Afectación	
			Neuroconductuales o Psicológicos		de la tiroides	Apoptosis Otras
Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS)				X		

Continuación tabla 16.

Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of depression the role of oxidative stress"				X
Electromagnetic field exposure in power plants: a qualitative assessment of work safety perceptions among employees	X			X
Magnetic fields trump oxygen in controlling the death of Erythro-Leukemia cells	X			X
Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation			X	X
Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance	X	X		X

Continuación tabla 16.

Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach	X		X		
Occupational extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) exposure and hematolymphopoietic cancers – Swiss National Cohort analysis and updated meta-analysis	X				
The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees				X	X
Occupational exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis			X		X
Resveratrol may reverse the effects of long-term occupational exposure to electromagnetic fields on workers of a power plant	X	X	X	X	

Continuación tabla 16.

Investigations of SAR distributions and temperature elevation on human body at 60GHz with corrugated antipodal linear tapered slot antenna	X		X
Acute Exposure to Terrestrial Trunked Radio (TETRA) has effects on the electroencephalogram and electrocardiogram, consistent with vagal nerve stimulation	X		
Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study		X	X
Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: A prospective cohort study			X
Lack of effects on key cellular parameters of MRC-5 human lung fibroblasts	X		X

Continuación tabla 16.

Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians	X	X	X	X	X
Drinking well water and occupational exposure to Herbicides is associated with chronic kidney disease, in Padavi-Sripura, Sri Lanka - No section-					X

La sección a continuación presentada corresponde al análisis de los 18 artículos pertenecientes al segundo subgrupo. En la *figura 15* y *figura 16* se establecen de manera gráfica las enfermedades de mayor relevancia depuradas del análisis anterior, resaltando el cáncer y trastornos neuroconductuales o psicológicos como aquellas enfermedades con mayor número de citaciones dentro de los 18 artículos.

Figura 15.

Enfermedades más relevantes.

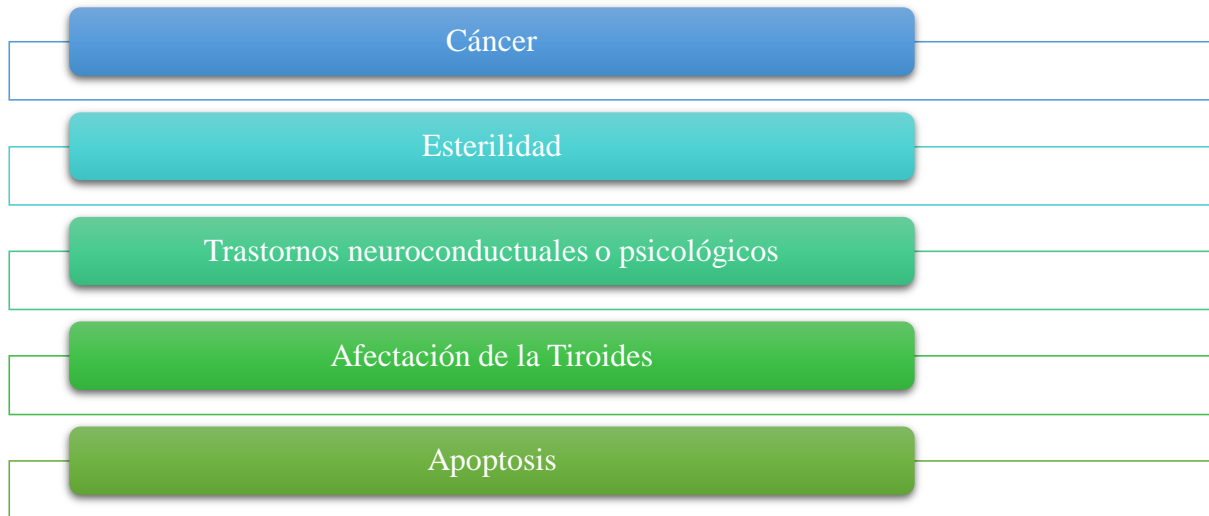
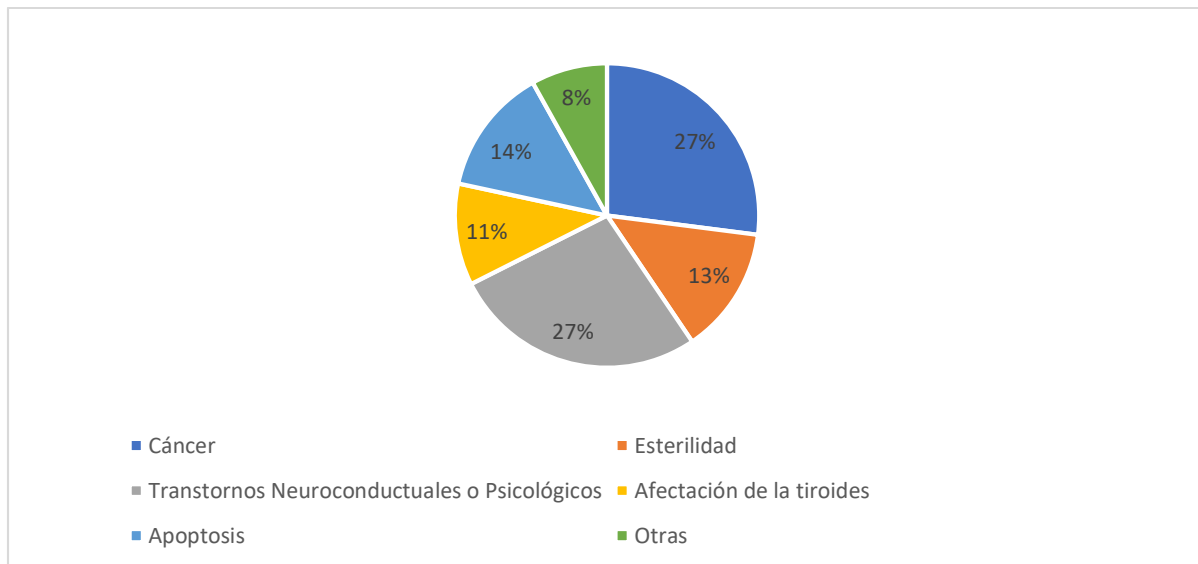


Figura 16.

Distribución de enfermedades con mayor relevancia dentro del subgrupo 2



5.2.2.1 Cáncer. De todas las asociaciones revisadas hasta el momento, la que más polémica, controversia y temor produce en la población general, e incluso entre investigadores, es la asociación entre exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia y desarrollo de cáncer. (L. de la Peña, J. M. Pastor, M. J. Ruiz, et al., 2002) Pero los resultados son controvertidos por diversos motivos: en la mayoría de los casos, como nadie está “no expuesto” a campos de frecuencia industrial, la comparación se realiza entre personas con alto nivel de exposición frente a personas con bajo nivel de exposición. Además, la población estudiada suele ser pequeña y no existe acuerdo sobre la forma de medir la exposición.

Desde una perspectiva molecular, la carcinogénesis es un proceso en varias fases causado por una serie de daños en el material genético de la célula. Actualmente se acepta que el cáncer se inicia con un daño a la información genética de la célula (ADN). Los agentes que originan tal daño se denominan genotoxinas, siendo muy poco probable que un único daño genético produzca cáncer. (Butterworth B E, Conolly R B, Morgan K T., 1995) Además, cuando se va bajando la dosis de las genotoxinas, el riesgo de inducción de cáncer se va haciendo más pequeño, incluso puede no llegar a ser cero nunca. (Foster K R., 1997) Las genotoxinas pueden afectar a muchos tipos de células, y pueden causar más de un tipo de cáncer. Existen también los agentes no genotóxicos (epigenéticos) que pueden contribuir al desarrollo de cáncer, aunque no sean capaces de originarlo por sí solos. (Kavet R. Emf, 1996) Los agentes epigenéticos afectan indirectamente a la carcinogénesis al aumentar la probabilidad de que otros agentes causen un daño genotóxico, o que el daño genotóxico causado por otros agentes desemboque en un cáncer. (Moulder J E, Foster K R., 1995)

La afirmación de que un agente tiene actividad epigenética debe ser evaluada con mucha precisión y bajo condiciones de exposición reales, condición que en muchas ocasiones no se

cumple. Hay publicados cientos de estudios sobre campos de frecuencia industrial y genotoxicidad, que son mayoritariamente negativos, encontrando incluso resultados ambiguos. Ninguno de los estudios positivos ha sido reproducido, y muchos de los informes positivos han utilizado condiciones de exposición que son muy diferentes de las que se encuentran en la vida real. (L. de la Peña, J. M. Pastor, M. J. Ruiz, et al., 2002)

En la actualidad, existen un gran número de estudios de laboratorio realizados sobre el potencial genotóxico y epigenéticos de los campos eléctricos de frecuencia industrial y campos electromagnéticos. En la *Tabla 17* y *Tabla 18* se evidencian algunos de los estudios que mayor aporte científico y número de citas denotaron en los últimos años y los resultados obtenidos.

Tabla 17.

Estudios sobre la actividad genotóxica de los CEM

Autor	Condición	Exposición	Resultado
Morandi y col.	Bacterias	60 Hz	No efecto en mutaciones
Fiorani y col.	Células humanas	50 Hz	Ningún daño en el ADN
Kowalczyk y Saunders	Ratones	50Hz, 20 kV/m	No efecto en tasa de mutaciones

Nota: Adaptado de R Mapfre Medicina, 2002; Vol. 13, N.º 3

Tabla 18.*Estudios sobre la actividad genotóxica de los CEM*

Autor	Condición	Exposición	Resultado
Frazier y col.	Linfocitos humanos	60 Hz	Los CEM no inhiben la reparación del daño de la radiación ionizante
Cantoni y col.	Células dañadas con peróxido de hidrógeno	50 Hz	Los CEM no inhiben la reparación del daño al ADN producido por peróxido
Scarfi y col.	Linfocitos humanos	50 Hz	Los CEM no aumentan la formación de micronúcleos inducida por un carcinógeno químico

Nota: Adaptado de R Mapfre Medicina, 2002; Vol. 13, N.º 3

A su vez, países como estados Unidos han centrado sus esfuerzos en investigar si los campos electromagnéticos en zonas residenciales a frecuencias industriales son causantes o no, de algunas enfermedades como el cáncer y sus derivadas. A continuación, en la *Tabla 19* se logra evidenciar de manera sintetizada los estudios de mayor relevancia realizados en Estado Unidos en los últimos 20 años.

Tabla 19.*Exposición residencial a campos de frecuencia industrial y riesgo relativo (RR) de padecer cáncer*

Tipo de cáncer	Nº de estudios	Mediana de RRs	Rango de RRs
Leucemia	40	1,20	0,80-2,25
Tumor cerebral	30	1,15	0,90-2,00
Linfoma	12	1,20	0,90-1,80
Pulmón	15	1,05	0,65-1,45
Mama en mujer	10	1,10	0,85-1,50
Mama en varón	10	1,25	0,65-2,80
Tasa global de cáncer	15	1,05	0,85-1,15

Nota: Adaptado de R Mapfre Medicina, 2002; Vol. 13, N.º 3.

Como base de comparación, la tasa de incidencia de cáncer en adultos, ajustada para la edad, en Estados Unidos es de 3 por 1000 por año para todos los tipos de cáncer (es decir, un 0,3% de la población desarrolla un cáncer en un año dado), y de 1 por 10000 por año para la leucemia.

Existen una serie de criterios, conocidos como criterios de Hill ampliamente aceptados, para evaluar los estudios de laboratorio y epidemiológicos sobre agentes que puedan suponer un riesgo para la salud humana. Bajo los criterios de Hill se valora el grado de asociación entre exposición y riesgo, la evidencia de una relación dosis-respuesta, las pruebas de laboratorio y la

verosimilitud o concordancia biológica. Un criterio aislado no es determinante, deben ser contemplados en un conjunto (L. de la Peña, J. M. Pastor, M. J. Ruiz, et al., 2002).

Dichos criterios, son evaluados en cada una de las investigaciones mencionadas anteriormente y son clasificados de la siguiente manera:

- Fuerza de asociación, medida con los índices estadísticos apropiados.
- Congruencia entre distintos observadores, en diferentes lugares, tiempos y circunstancias.
- Especificidad de las causas.
- Temporalidad.
- Gradiente biológico en la relación dosis-respuesta.
- Plausibilidad biológica.
- Coherencia con otros conocimientos.
- Evidencia experimental.
- Analogía con otras relaciones causales.

La utilización de los criterios de Hill muestra que actualmente las pruebas de una relación entre campos de frecuencia industrial y cáncer es débil. Por lo tanto, por los conocimientos existentes sobre la física de los campos de frecuencia industrial y sus efectos sobre los sistemas biológicos no hay razón para pensar que supongan un riesgo para las personas, a los niveles de exposición asociados con la generación y distribución de electricidad.

Los factores que pueden crear asociaciones falsas en los estudios epidemiológicos sobre exposición a campos magnéticos y cáncer incluyen: inadecuadas estimaciones de las dosis, factores de confusión, controles inadecuados, sesgos de publicación y artefactos de las comparaciones múltiples. (L. de la Peña, J. M. Pastor, M. J. Ruiz, et al., 2002).

Los campos electromagnéticos y la posible afectación sobre la salud en el desarrollo de enfermedades como el cáncer, continúa siendo un tema mediático y genera un gran número de investigaciones cada año sobre el tema. Esta tesis busca resumir, algunas de las investigaciones de mayor relevancia ejecutadas en los últimos años.

El Registro de Tumores de Oslo (Noruega), debido a la creciente hipótesis de que la exposición a campos magnéticos generados por líneas de alta tensión aumentaba la incidencia de cáncer en niños de entre 0 y 14 años, realizó en 1997 un estudio retrospectivo sobre niños que habían residido cerca de estas zonas. El estudio abarcó el período comprendido entre los años 1960 a 1989, tomando en consideración, entre otros factores, la edad del niño, las características del campo electromagnético y la distancia entre éste y el lugar de residencia. No se encontró ninguna asociación entre los niños expuestos y el aumento en la incidencia de leucemias, linfomas y/o tumores del SNC (Tynes T, Haldorsen T., 1997).

Otro estudio destacable fue el realizado por la Sociedad Danesa de Cáncer, entre trabajadores de 99 compañías industriales, que estudió una población de 32.006 trabajadores expuestos a campos electromagnéticos y asbesto durante al menos tres meses y su relación con el padecimiento posterior de cáncer. Los resultados no demostraron un aumento en la incidencia de cáncer de sistema nervioso central, leucemia o cáncer de mama, sin distinción de sexo (Johansen C, Olsen J H., 1998).

Un estudio de características similares fue el realizado por el Instituto de Salud Laboral en Birmingham. Tras observar, los años 1972-1991, 112 casos de tumores primarios de SNC, en una población de 84.018 trabajadores de una central eléctrica, se investigó su posible relación con la exposición a campos electromagnéticos de estos trabajadores. Los resultados, como en estudios anteriores, indican que el riesgo de padecer un tumor primario de SNC no está asociado con la exposición a campos electromagnéticos (Harrington J M, McBride D I, Sorahan T, Paddle G M, Van Tongeren M, 1997).

Estudios más recientes llegan a la misma conclusión, no existen datos para afirmar que existe una relación entre campos electromagnéticos y aumento de la incidencia de cáncer. Aunque algunos estudios encuentren relación, lo único que demuestran es un riesgo moderado de padecer cáncer, generalmente entre 1,1 y 3,0 para niños y adultos expuestos a CEM. Este riesgo es bajo si lo comparamos con otros riesgos conocidos y sobradamente probados, como el tabaco, donde el riesgo aumenta diez veces, o el asbesto cinco. (...)

(...) El inconveniente que tienen todos estos estudios epidemiológicos es que es muy difícil monitorizar las 24 horas del día de la vida de un individuo. De hecho, toda la población está expuesta, en casa, en el trabajo, durante el tiempo de ocio, por lo que el riesgo puede ser subestimado porque no se puede identificar un grupo control, es decir, un grupo que no esté expuesto a ningún campo electromagnético. (L. de la Peña, J. M. Pastor, M. J. Ruiz, et al., 2002).

Por otro lado, en la mayoría de los estudios ocupacionales no se han tenido en cuenta la exposición a otros posibles carcinógenos (tabaco, alcohol, sustancias químicas, dieta y factores medioambientales). Finalmente, se puede afirmar que no existe evidencia sólidamente respaldada de que los CEM de baja frecuencia representen ningún riesgo para la salud.

5.2.2.2 Esterilidad. Algunos estudios han relacionado la exposición a campos magnéticos de mujeres y hombres en edad fértil e incluso de mujeres embarazadas, con malformaciones fetales, abortos espontáneos y recién nacidos de bajo peso para su edad gestacional.

Estudios realizados por Lacranjan et al, Shandala et al, Weyanddt et al, 2003, coinciden en afirmar que la disminución del espermatogénesis que conlleva a una disminución en la concentración de espermatozoides y su conteo se debe a la exposición a radiaciones no ionizantes generadas por radares. Makler et al., 1996 afirma que la motilidad espermática se ve afectada por la exposición a campos electromagnéticos con frecuencias de 900 MHz, a diferencia de Tablado et al., 1999 quien concluye un aumento en dicha motilidad.

Sin embargo, el número de autores que mencionan dicho tema son cientos y nombrar a cada uno puede llegar a ser una tarea dispendiosa y poco concluyente. Por lo tanto, se presenta a continuación en *Tabla 20* la descripción de las posibles alteraciones en el semen producidas por la exposición a radiación no ionizante que fueron encontradas en 3 de los 42 artículos clasificados en la revisión de literatura. Estos artículos fueron seleccionados de manera arbitraria por la autora de la tesis, debido a su alta participación en el subgrupo dos.

Tabla 20.

Efectos en la salud de población expuesta a campos electromagnéticos generados por radiación no ionizante.

Características	Artículo n° 1	Artículo n° 2	Artículo n° 3
Título	“Semen Quality and Hormone Levels Among Radiofrequency Heater Operators”	“Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure”	“Subjective Symptoms, Sleeping Problems, and Mobile Cognitive Performance in Subjects Living Near Phone Base Stations”
Autor(es)	Barbara Grajewski, Clinton Coz, Steven M. Schrader, William E. Murray, Richard M. Edwards, Terry W. Turner, James M. Smith	Anders Ahlborn, Adele Green, Leeka Kheifets, David Savitz, Anthony Serdlow, ICNIRP	H-P Hutter, H. Moshammer, P. Wallner, M. Kundi
Tipo de estudio	Casos y controles	Revisión documental	Casos y controles
Fuente de exposición	Redes	Radares	Radares
Población o número de casos expuestos	12	5 estudios	63
ALTERACIONES EN EL ESPERMOGRAMA			
Concentración espermática	Normal	Disminuido en 3 de los 5 estudios	Disminuido en 25 personas expuestas

Continuación Tabla 20.

Recuento de espermatozoides	Disminuido en todos los expuestos, pero entre los límites normales	Normal en un estudio. No se tiene información de los otros 4	No informa
Volumen	Disminuido en todos los expuestos, pero entre los límites normales	No informa	Disminuido en 25 expuestos
Movilidad	Aumentado en todos los expuestos, pero entre los límites normales	Disminuido en 3 estudios	Disminuido en 25 expuestos
Viabilidad	Aumentado en todos los expuestos, pero entre los límites normales	No informa	Disminuido en todos los expuestos
Velocidad	Normal	No informa	No informa
Ph	Normal	No informa	Normal
Características físicas	Normal	No informa	Normal
Morfología	Normal	Normal en 1 de los 5 estudios. No se tiene información de los demás	Alterada en todos los expuestos
Morfometría	Normal	No informa	No informa

Continuación Tabla 20.

	Aumentado en todos los		
FSH	expuestos, pero entre los	No informa	No informa
	límites normales		
Testosterona total	Normal	No informa	No informa
LH	Normal	No informa	No informa
Prolactina	Normal	No informa	No informa

Nota: Adaptado de Troya Mosquera y Zabala Niño, 2008.

El consumo de alcohol afecta la concentración espermática, según estudios de la ICNIRP se dice que del 25% de los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos generados por radiación no ionizante, 1 es considerado bebedor frecuente. Otros de los supuestos que hacen contrapeso a las investigaciones científicas son patologías genéticas, exposición a sustancias químicas, consumo de tabaco, edad, pacientes medicados, tipo de alimentación y una de las de mayor relevancia la forma de toma de muestra a cada uno de los expuestos en dichas investigaciones.

La masturbación es la única forma de poder realizar la toma de muestras en cada uno de los pacientes, debido a que, si fuera recolectado por coito interrumpido, la muestra puede perderse y el valor del volumen se vería altamente afectado. A su vez, la abstinencia juega un papel crucial al momento de toma de muestra debido a que afecta directamente el volumen y número de espermatozoides.

Finalmente, teniendo en cuenta la valoración según escala de Hill, mencionada anteriormente, los reportes de alteraciones del semen deben estar bien estructuradas, ya que se deben tener en cuenta todas las variables de confusión y método de recolección de muestras para no obtener resultados erróneos. Toda la información recolectada apunta a que no puede afirmar una relación directa entre las alteraciones del semen y la exposición a campos electromagnéticos, a pesar de contar con información científica que lo contradice.

5.2.2.3 Trastornos neuroconductuales o psicológicos. Algunos estudios epidemiológicos analizados anteriormente, han establecido la posible relación entre alteraciones psíquicas, como depresión, suicidio e incluso desarrollo de demencias debido a exposición ocupacional a campos electromagnéticos por radiación no ionizante. La mayoría de estos estudios se ha realizado entre personal laboral de oficinas, que trabajaban principalmente con ordenadores, y poblaciones residentes cerca de líneas de alta tensión.

Un estudio reciente realizado sobre 138.905 trabajadores de una central eléctrica establece una posible relación entre exposición ocupacional a CEM y suicidio. Los propios autores de este artículo recomiendan mirar estos resultados con cautela y buscar otros posibles mecanismos relacionados, como los niveles de melatonina (Van Wijngaarden E, Savitz D A, Kleckner R C, Cai J, Loomis D., 2000).

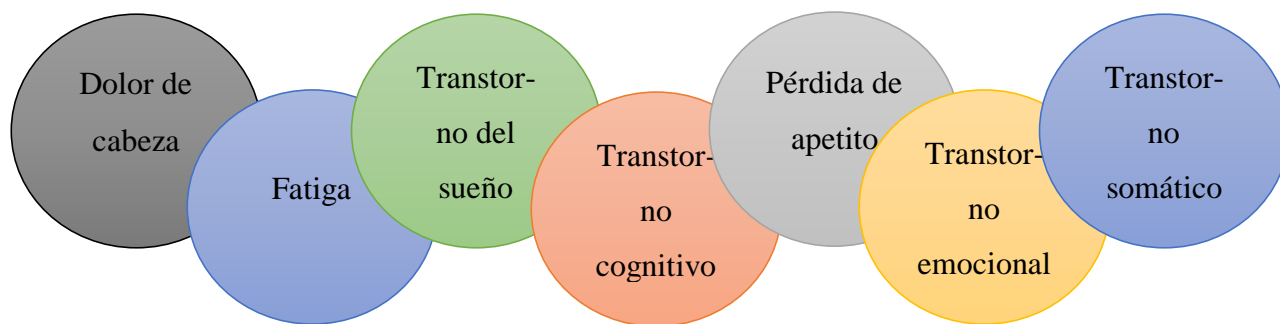
Versakalo y cols. estudian en Finlandia 12.063 personas con historia de 20 años de exposición a campos electromagnéticos producidos por líneas de alta tensión de 110 a 400 Kv, sin encontrar asociación entre síntomas depresivos y niveles de exposición (L. de la Peña, J. M. Pastor, M. J. Ruiz, et al., 2002).

Otro de los estudios de mayor relevancia en el tema, fue desarrollado por Baris D, Amstrong B G, Deadman J, Thériault G. A, en 1996, sobre 21.744 trabajadores de una empresa eléctrica en Quebec (Canadá), en el se investigó la relación entre la exposición a campos electromagnéticos y la tasa de suicidios existente entre estos trabajadores, demostrándose la poca solidez de la asociación debido, entre otras razones, al bajo número de muertes por suicidio (49 suicidios entre el total de trabajadores) y a la imposibilidad de controlar todos los posibles factores que rodeaban a cada individuo.

Es importante destacar que gran parte de la literatura científica seleccionada, hace referencia a la asociación entre exposición a radiofrecuencias no ionizantes y la aparición de trastornos neuroconductuales, sin embargo, la mayoría de estos estudios fueron de carácter descriptivo, lo que ocasiona que no exista valores cuantificables que permitan ser analizados y comparados entre sí. A continuación, en la *Figura 17* se presenta los siete trastornos identificados en la revisión de literatura que presentaron mayor relevancia y citas.

Figura 17.

Trastornos neuroconductuales de mayor relevancia



Nota: Adaptado de Troya Mosquera y Zabala Niño, 2008.

Finalmente, es posible afirmar que la presencia de trastornos neuroconductuales asociados a la exposición de campos electromagnéticos no está totalmente definida por la ciencia, debido a que los estudios realizados no muestran con precisión datos cuantificables que permitan realizar una comparación cualitativa para así determinar si la exposición de estos puede desencadenar o no en dichos trastornos.

5.2.2.4 Tiroides. El cáncer de tiroides, aunque todavía poco frecuente, es un tumor endocrino, con una creciente incidencia en países desarrollados. Existen pocos estudios que analizan la contribución de la ocupación en el riesgo de este tumor, y sus resultados son poco consistentes.

La evidencia científica que relaciona las alteraciones de tiroides y la exposición ocupacional a campos electromagnéticos es realmente baja, sin embargo, es importante destacar uno de los hallazgos con mayor relevancia para esta investigación. El Registro Nacional de Cáncer y el Registro de defunciones de Suecia, realizó un estudio de cohortes retrospectivo que comprendía a toda la población activa sueca registrada en el censo de 1970, presente también en el censo de 1960. En total de 2.992.166 trabajadores eléctricos de procedencia sueca fueron seguidos durante 19 años (1971-1989). El objetivo de dicha investigación, consistía en identificar las ocupaciones e industrias de mayor riesgo de cáncer de tiroides, así como su relación con la exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes, campos electromagnéticos de baja frecuencia y ciertas sustancias químicas en la población activa sueca. Durante dicho seguimiento se diagnosticaron un total de 1.103 casos de cáncer de tiroides en hombre y 1.496 casos en mujeres.

5.2.3 Subgrupo 3: Relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones

En la *Tabla 21* se representan aquellos artículos cuyo eje es abordado desde el tercer y último subgrupo temático: Relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones.

Tabla 21.

Subgrupo Relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones.

Title	Source title
Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of depression the role of oxidative stress"	Journal of Occupational Health
Electromagnetic field exposure in power plants: a qualitative assessment of work safety perceptions among employees	Journal of Risk Research
Standardised evaluation of the electric field for meeting safety aspects for workers according to directive 2013/35/EU and VEMF [Standardisierte Evaluierung des elektrischen Feldes für Arbeitnehmer/innen gemäß 2013/35/EU and VEMF]	Elektrotechnik und Informationstechnik
5G wireless communication and health effects—A pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 GHz	International Journal of Environmental Research and Public Health
Electromagnetic fields exposure assessment among workers at broadcast centers in Poland	Medycyna pracy

Continuación Tabla 21.

Enabling radioprotection capabilities in next generation wireless communication systems: An ecological green approach	Transactions on Emerging Telecommunications Technologies
Occupational extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) exposure and hematolymphopoietic cancers – Swiss National Cohort analysis and updated meta-analysis	Environmental Research
Exposure Assessment and Biomonitoring of Workers in Magnetic Resonance Environment: An Exploratory Study	Frontiers in Public Health
The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees	Journal of Nanoparticle Research
Radiofrequency exposure amongst employees of mobile network operators and broadcasters	Radiation Protection Dosimetry
Occupational exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis	Occupational and Environmental Medicine
Thyroid hormone indices in computer workers with emphasis on the role of zinc supplementation	Macedonian Journal of Medical Sciences
Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines	Safety and Health at Work
Effects of electromagnetic radiation exposure on bone mineral density, thyroid, and oxidative stress index in electrical workers	OncoTargets and Therapy

Continuación Tabla 21.

A Source-based Measurement Database for Occupational	
Exposure Assessment of Electromagnetic Fields in the INTEROCC Study: A Literature Review Approach	Annals of Occupational Hygiene
Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: The Swiss National Cohort	Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration

Este último subgrupo cuenta con la característica que algunos de los artículos presentados anteriormente comparten clasificación con otros subgrupos, especialmente en la temática de “Enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos”.

En este último segmento se observa un conjunto de 16 artículos, donde predominan temáticas como lo son exposición ocupacional, casos de estudio y evidencia científica, seguridad y salud en el trabajo, mitigación del riesgo, evaluación de evidencias científicas, medicina y niveles de exposición y legislación según la ICNIRP.

En la Figura 17 se observa la nube de palabras claves identificadas en la depuración del segundo segmento.

Figura 17.*Nube de palabras subgrupo 3.*

La creciente prevalencia de los teléfonos móviles y su infraestructura asociada ha generado preocupaciones sobre los efectos adversos para la salud. A la vanguardia de la preocupación pública y política, recientemente, IARC clasificó la radiofrecuencia (RF) como posible carcinógeno basado principalmente en “limitada” evidencia de una asociación de glioma y neuroma acústico con el uso de teléfonos móviles, aunque describió evidencia en relación con las personas expuestas ocupacionalmente como “inadecuado” (agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, 2013). Los estudios a gran escala continúan explorando la asociación entre la exposición a RF y los efectos adversos para la salud. Es probable que esto genere un interés renovado en los efectos de la RF en el cuerpo humano. Sin embargo, el seguimiento preciso de la exposición personal a RF sigue significando un factor inhibitorio no

permitido, particularmente en entornos de trabajo complejos que pueden contener una amplia gama de fuentes, potencias y frecuencias, un desafío que ha sido ampliamente reconocido y dependiendo de sus roles y responsabilidades, los empleados pueden experimentar exposiciones de diferente duración e intensidad (Cooper, TG, Allen, SG, Blackwell, RP, Litchfield, I., Mann, SM, Pope, JM y van Tongeren, 2004).

Solo se ha publicado una cantidad limitada de investigaciones sobre la exposición ocupacional a RF de los trabajadores de las industrias de telecomunicaciones y radiodifusión.

En la actualidad, la telefonía móvil europea utiliza mayoritariamente señales de 900 MHz (sistemas analógicos) o de 900 y 1800 MHz (sistemas digitales, GSM), de amplitud modulada a 16 Hz y 217 Hz, generalmente. En estos rangos de frecuencia, las exposiciones recibidas por el público tienen dos fuentes fundamentales: las antenas de las estaciones base (BTS), situadas en azoteas (áreas urbanas) o sobre mástiles emplazados en promontorios (áreas rurales, principalmente), y los propios teléfonos móviles. Si la distancia que media entre la fuente y el sujeto es muy superior a la longitud de la onda (centímetros en el caso de las frecuencias de telefonía móvil) se dice que la exposición tiene lugar en “campo lejano” y su caracterización es relativamente sencilla mediante el empleo de unidades como la densidad de potencia de la radiación (en W/m^2). Es el caso de las exposiciones para personas que se encuentran en las proximidades (decenas de metros, como mínimo) de antenas fijas. Por el contrario, en el caso del teléfono, que se aplica a distancias más cortas que la longitud de onda de la señal, la exposición tiene lugar en “campo próximo” y su caracterización es mucho más compleja, siendo necesario acudir a estimaciones de la tasa de absorción específica o SAR (en W/kg de tejido) en las que intervienen parámetros como las dimensiones y morfología del cuerpo expuesto y

las características eléctricas de los distintos tejidos que lo componen (Gil- Loyzaga & Úbeda, 2001).

6. Difusión de los resultados de la investigación

Uno de los propósitos para el desarrollo de esta investigación era lograr condensar en un artículo científico la mayor información posible, verídica y confiable, a cerca de los posibles efectos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos en empleados del sector de las telecomunicaciones, logrando en sí un aporte característico para el desarrollo de futuras investigaciones y bienestar de la sociedad en general.

A continuación, en la *Tabla 22* se presenta la estructura que aborda el artículo referente al tema de investigación.

Tabla 22.

Estructura del artículo

Estructura	Contenido
Resumen / Abstract	Descripción breve de todo el proyecto.
Introducción	Preámbulo del tema. Pretende contextualizar al lector en la temática de investigación.
Metodología	Proceso detallado de forma general, acerca del paso a paso llevado a cabo en la revisión de literatura.

Continuación Tabla 22.

Resultados	Detalla de manera precisa la información con mayor relevancia, considerando los subtemas pertinentes. Brinda respuesta a la pregunta de investigación inicial.
Conclusión	Cumplimiento de los objetivos del proyecto. En este caso, las mismas conclusiones del libro.

El artículo científico se encuentra en el Apéndice C.

7. Conclusiones

Determinar los efectos sobre la salud por exposición ocupacional a campos electromagnéticos ha tenido diferentes puntos e hipótesis que se contradicen entre sí, la normativa colombiana en seguridad y salud en el trabajo no adjudica ninguna enfermedad laboral como posible resultado de una exposición a radiación no ionizante. Sin embargo, estudios alrededor del mundo han demostrado que los resultados hasta el momento son contradictorios.

A través de la inmersión teórica inicial se logró la contextualización a la temática planteada por medio de literatura gris y sitios web especializados. En esta fase se identifican factores como el panorama prometedor del sector de las telecomunicaciones en Colombia, su impacto en la economía global y la falta de evidencia científica en Colombia que sustente el objeto de investigación. Allí también, se habla del creciente desarrollo de la industria de las

telecomunicaciones y la alta demanda de empleo que esta genera por año, vinculando miles de personas alrededor del mundo en áreas altamente expuestas a campos electromagnéticos.

Aplicando el protocolo de búsqueda descrito en la metodología para la revisión de literatura, se obtuvieron 722 documentos en una ventana de tiempo de aproximadamente 30 años. Por la cantidad de documentos, se concluye que el resultado puede llegar a ser insulso para la revisión de literatura, por lo tanto, se aplican criterios de inclusión como operadores, exclusión como idioma, año de publicación, tipo de documento y calidad como palabras claves de obligatoriedad en la ecuación de búsqueda. Finalmente, se identifican 42 artículos que cumplen con todas las características requeridas dentro del eje investigativo. Reino Unido, Holanda y Estados Unidos, encabezan la lista de los países con mayor número de publicaciones hechas sobre el tema; es válido destacar que dentro de los artículos seleccionados no se encuentra ningún país latinoamericano. En las áreas de trabajo de mayor impacto se encuentra medicina, medio ambiente e ingenierías respectivamente, esto denota que no solo el área de la salud es determinante en la investigación, también lo son aspectos ingenieriles como la seguridad y salud en el trabajo. Otro aspecto relevante en la revisión de literatura es que entre los años 2015 a 2018 el promedio de publicaciones fue 8 artículos por año dentro de la misma temática, lo que traduce en un interés genuino por la rama investigativa.

Posterior al análisis bibliométrico, se da continuidad a la revisión de literatura clasificando los 42 artículos en tres subgrupos donde cada uno corresponde a una temática clave para el análisis de información recopilada. El subgrupo 1 reúne aquellos artículos donde se hable de exposición ocupacional a campos electromagnéticos en general, es decir, todos aquellos trabajos que de forma directa o indirecta estén expuestos a algún tipo de radiación;

en este primer subgrupo se clasifican 14 artículos en total, los principales temas encontrados en este subgrupo corresponden a consumo, ambientes y utilización de energía eléctrica, poblaciones expuestas a campos electromagnéticos, trabajos expuestos a la utilización y generación de energía, fuentes generadoras de campos electromagnéticos, biomagnetismo, entre otros.

El subgrupo 2 está conformado por 18 de los 42 artículos, siendo el subgrupo más grande de los tres. Corresponde a las enfermedades derivadas u ocasionadas por la exposición ocupacional a campos electromagnéticos, es decir, el foco de la investigación. En el predominan temáticas como lo son salud, cáncer, mitigación del riesgo, evaluación de evidencias científicas, medicina, genética y biología molecular, salud pública, exposición ocupacional, entre otros. A través de la elaboración de una matriz de posibles afectaciones a la salud, se logra determinar que el cáncer, las enfermedades neuroconductuales o psicológicas, esterilidad, tiroides y apoptosis, encabezan la lista de afectaciones con mayor número de citas dentro de este segmento de investigación.

Dentro del grupo de enfermedades con mayor relevancia se destaca el cáncer, puntualmente Leucemia y tumores de encéfalo. La información recolectada en esta revisión de literatura adjudica en gran proporción a la exposición ocupacional a campos electromagnéticos como una de las posibles causantes de dicha enfermedad. Sin embargo, las enfermedades relacionadas a trastornos neuroconductuales y psicológicos demuestran un panorama diferente, a pesar de ser una de las enfermedades más citadas, junto con el cáncer en igual porcentaje, la evidencia científica recolectada entre la ventana de tiempo de los años 2015 – 2020, denota que no es suficiente para concluir que dichas enfermedades son causadas por exposición ocupacional a campos electromagnéticos. Lo anterior, se sustenta en que gran parte de los estudios llevados a cabo hasta el momento determinan que la información recolectada presenta “limitantes” que distorsionan los

resultados obtenidos, por ejemplo, gran parte de las investigaciones trabajan con información de tipo cualitativo, ocasionando variabilidad en las deducciones objetadas.

Finalmente, el subgrupo 3 compuesto por 16 artículos, clasifica la relación entre exposición ocupacional y sector de las telecomunicaciones predominando temáticas como lo son exposición ocupacional, casos de estudio y evidencia científica, seguridad y salud en el trabajo, mitigación del riesgo, evaluación de evidencias científicas, medicina y niveles de exposición y legislación según la ICNIRP. Es importante destacar que uno de los grupos ocupacionales más expuestos a la radiación electromagnética son los trabajadores del sector eléctrico. Se observó que los trabajadores de dicho sector que están expuestos a radiación electromagnética causada por líneas de transmisión de alto voltaje y transformadores durante un período prolongado se quejan de indisposición general, agotamiento, apatía, ansiedad y dolor de cabeza.

La cantidad de investigaciones científicas publicadas son limitadas, la exposición ocupacional a campos electromagnéticos en los trabajadores de las industrias de telecomunicaciones y radiodifusión sigue aumentando año tras año. Por lo tanto, los estudios a gran escala continúan explorando la asociación entre la exposición a campos electromagnéticos y los efectos adversos para la salud. Es probable que esto genere un interés renovado en los efectos de la radiación no ionizante en la salud del ser humano. Sin embargo, el seguimiento preciso de la exposición laboral sigue significando un factor inhibitorio no permitido, particularmente en entornos de trabajo complejos que pueden contener una amplia gama de fuentes, potencias y frecuencias, un desafío que ha sido ampliamente reconocido y dependiendo de sus roles y responsabilidades, los empleados pueden experimentar exposiciones de diferente duración e intensidad.

8. Recomendaciones

La investigación realizada permite dar una visión más objetiva en la creciente preocupación por posibles enfermedades laborales ocasionadas a la exposición a campos electromagnéticos en el sector de las telecomunicaciones, Sin embargo, es necesario plantear algunas recomendaciones para futuras investigaciones, las cuales consisten en:

Ampliar el objetivo de investigación para lograr un mayor alcance en estudios focalizados en el sector de las telecomunicaciones en Colombia. Para esto, es necesario la recolección de pruebas y evidencia científica por parte de los futuros investigadores. Donde se tengan en cuenta factores como lo son el tiempo de exposición, la cantidad de frecuencia emitida por las fuentes y recibida por el trabajador, otros tipos de riesgo a los que se ven expuestos los trabajadores del sector de las telecomunicaciones y factores externos no propios de la labor ejecutada.

Promover desde el ministerio de trabajo, el fondo de riesgos laborales, las ARL's y las universidades con posgrados en Sistemas de Seguridad y Salud en el Trabajo, la investigación sobre dicho tema dado el crecimiento de la industria de las telecomunicaciones en Colombia.

A su vez, es importante abordar en las futuras investigaciones el método y las herramientas para evaluar la exposición, donde se incorporen principios de epidemiología a la valoración inicial del estado de salud y su respectivo seguimiento médico a los trabajadores del sector expuestos a campos electromagnéticos.

Fortalecer la investigación sobre este tema en Latinoamérica, especialmente en Colombia, debido a que no se cuenta con la información suficiente para poner en tela de juicio la normativa

que hasta hoy rige a los empleados del sector de telecomunicaciones. En caso hipotético que la evidencia científica logre refutar lo establecido hoy en día, se vería un cambio radical en el sistema de seguridad y salud en el trabajo que actualmente desarrollan las empresas.

Finalmente, considerando que el representante de la Asociación Colombiana de Universidades ASCUN ante la Comisión Nacional de SST para las TICs es profesor UIS y director de este proyecto, se recomienda socializar el trabajo realizado para que este aspecto sea incluido en la agenda de temas a revisar en 2021 en procura de lograr mitigar el riesgo para los trabajadores expuestos.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, m. 2001. Bioelectromagnetismo: campos eléctricos y magnéticos y seres vivos. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid.
- Alfonso balmori (2004). Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefónica inalámbrica sobre los seres vivos. *Ardeola* 51 (2), 2004, 477 -490.
- Amin, a. I., hegazy, n. M., ibrahim, k. S., mahdy-abdallah, h., hammouda, h. A. A., & shaban, e. E. (2016). Thyroid hormone indices in computer workers with emphasis on the role of zinc supplementation. *Macedonian journal of medical sciences*, 4(2) doi:10.3889/oamjms.2016.041
- Analiza la salud ocupacional dentro de la gestión industrial.
- Autorizaci, c. D. E., para, d. E. L. O. S. A., consulta, l. A., del, n., completo, t., se, g. T., ... rom, c.-. (2008). No title.
- Bagheri hosseinabadi, m., khanjani, n., ebrahimi, m. H., mousavi, s. H., & nazarkhani, f. (2020). Investigating the effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on job burnout syndrome and the severity of depression; the role of oxidative stress. *Journal of occupational health*, 62(1) doi:10.1002/1348-9585.12136
- Baliatsas, c., van kamp, i., bolte, j., kelfkens, g., van dijk, c., spreuwenberg, p., . . . Yzermans, j. (2016). Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: a retrospective before-after study. *Science of the total environment*, 565, 714-720. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.021

- Balmori, a. (2006). Efectos de las radiaciones electromagnéticas de la telefonía móvil sobre los insectos, 1, 1–9.
- Baris d, amstrong b g, deadman j, thériault g. A case cohort study of suicide in relation to exposure to electric and magnetic fields among electrical utility workers. *Occup environ med.* 1996; 53 (1): 17- 24.
- Barth, a., winker, r., ponocny-seliger, e., mayhofer, w., ponocny, i., sauter, c. Y vana, n. Un metanálisis de los efectos neuroconductuales debidos a la radiación electromagnética. Fi exposición a campo emitida por teléfonos móviles gsm. *Ocupar. Reinar. Medicina.*, 2006.
- Bates mn. Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja y cáncer: la evidencia epidemiológica. *Perspectiva de salud ambiental.* 1991; 95: 147-156.
- Bellagamba, i., bocconi, f., ferrante, r., tombolini, f., marra, f., sarto, m. S., & iavicoli, s. (2020). Workers' exposure assessment during the production of graphene nanoplatelets in r&d laboratory. *Nanomaterials*, 10(8), 1-23. Doi:10.3390/nano10081520
- Birks, l. E., struchen, b., eeftens, m., van wel, l., huss, a., gajšek, p., . . . Guxens, m. (2018). Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in europe. *Environment international*, 117, 204-214. Doi:10.1016/j.envint.2018.04.026
- Bransburg-zabary, s., virozub, a., & mimouni, f. B. (2015). Human milk warming temperatures using a simulation of currently available storage and warming methods. *Plos one*, 10(6) doi:10.1371/journal.pone.0128806

Burgess, a. P., fouquet, n. C., seri, s., hawken, m. B., heard, a., neasham, d., . . . Elliott, p. (2016).

Acute exposure to terrestrial trunked radio (tetra) has effects on the electroencephalogram and electrocardiogram, consistent with vagal nerve stimulation. *Environmental research*, 150, 461-469. Doi:10.1016/j.envres.2016.06.031

Butterworth b e, conolly r b, morgan k t. A strategy for establishing mode of action of chemical carcinogens as a guide for approaches to risk assessments. *Cancer letters*. 1995; 93: 129-146.

Cendes, c., laura, m., & henry, m. L. (2017). Redalyc.hacia un enfoque ampliado de los riesgos laborales en argentina el estudio de los riesgos psicosociales y su incidencia en el sector público.

Chang k, changwhs, huang s, huang s, shih c. La estimulación de campos electromagnéticos pulsados afecta la formación de osteoclastos mediante la modulación de osteoprotegerina. Rank ligando y factor estimulante de colonias de macrófagos. *J orthopaedic res*. 2005; 23: 1308-1314.

Cooper, tg, allen, sg, blackwell, rp, litch fi eld, i., mann, sm, pope, jm y van tongeren, mja evaluación de la exposición ocupacional a la radiofrecuencia fi campos y radiación. *Radiat. Prot. Dosim*. 111 (2), 191 - 203 (2004).

Court, l. A., grandolfo, m., repacholli, m. H., & swicort, m. L. (1977). *Non-ionizing radiation protection e . V .*

Diaz mendoza, ríos vesga (2014). Determinantes del costo de las prestaciones causadas por accidentes, incidentes y enfermedades laborales en trabajadores del sector de la

construcción en Colombia por ausencia de un buen sistema de salud ocupacional.

Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Diez, I., Agüero, R., & Muñoz, I. (2017). Electromagnetic field assessment as a smart city service: the Smartsantander use-case. *Sensors (Switzerland)*, *17*(6) doi:10.3390/s17061250

Eltiti, S., Wallace, D., Russo, R., & Fox, E. (2015). Aggregated data from two double-blind base station provocation studies comparing individuals with idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields and controls. *Bioelectromagnetics*, *36*(2), 96-107. Doi:10.1002/bem.21892

Foster, K. R. Weak electromagnetic fields and cancer in the context of risk assessment. *Proc IEEE*, 1997; *85*: 733-746

Friedl, K., Abart, A., Schürhuber, R., & Schmutzner, E. (2019). Standardised evaluation of the electric field for meeting safety aspects for workers according to Directive 2013/35/EU and VEMF. [standardisierte Evaluierung des elektrischen Feldes für Arbeitnehmer/innen gemäß 2013/35/EU and VEMF] *Elektrotechnik und Informationstechnik*, *136*(8), 352-360. Doi:10.1007/s00502-019-00770-z

Gencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer. Radiación no ionizante, parte 2: electromagnética de radiofrecuencia y campos. Monografías IARC Volumen 102; 2013.

Gil-Lozaga, P. E., & Orejana, F. C. (2001). Y Salud editores.

Grupo de expertos independientes sobre teléfonos móviles. Teléfonos móviles y salud. Informe Stewart. IEGMP, (2010).

Harrington j m, mcbride d i, sorahan t, paddle g m, van tongeren m. Occupational exposure to magnetic fields in relation to mortality from brain cancer among electricity generation and transmission workers. *Occup environ med.* 1997; 54 (1): 7- 13.

Huss, a., spoerri, a., egger, m., kromhout, h., & vermeulen, r. (2015). Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of als: the swiss national cohort. *Amyotrophic lateral sclerosis and frontotemporal degeneration*, 16(1-2), 80-85. Doi:10.3109/21678421.2014.954588

Huss, a., spoerri, a., egger, m., kromhout, h., & vermeulen, r. (2018). Occupational extremely low frequency magnetic fields (elf-mf) exposure and hematolymphopoietic cancers – swiss national cohort analysis and updated meta-analysis. *Environmental research*, 164, 467-474. Doi:10.1016/j.envres.2018.03.022

I, d. B. L. V., i, v. C., & i, t. J. A. B. (2016). Fiebre chikungunya chikungunya fever resumen introducción, 2, 30–43.

Incirp. Directrices emf. *Health physics* 1998; 74: 494–522

Ictor, i. N. G. V, & rizzera, d. A. F. (2007). Adiaciones o onizantes.

Ionizantes, r. N. O. (n.d.). Radiaciones no ionizantes.

Ivancsits s, diem e, jahn o, rudiger hw. Los campos electromagnéticos intermitentes de frecuencia extremadamente baja causan daños en el adn de una manera dependiente de la dosis. *Int arch occup environ health.* 2003; 76: 431–436.

Jayasumana, c., paranagama, p., agampodi, s., wijewardane, c., gunatilake, s., & siribaddana, s. (2015). Drinking well water and occupational exposure to herbicides is associated with

chronic kidney disease, in padavi-sripura, sri lanka -no section-. *Environmental health: a global access science source*, 14(1) doi:10.1186/1476-069x-14-6

Jin yb, choi sh, lee js, kim jk, lee jw, hong sc, myung sh, lee ys. Ausencia de daño en el adn después de la exposición a un campo electromagnético de 60 hz combinado con radiación ionizante, peróxido de hidrógeno o sobreexpresión de c-myc. *Radiat environ biophys*. 2014; 53: 93-101.

Johansen c, olsen j h. Risk of cancer among danish utility workers. A nationwide cohort study. *Am j epidemiol*. 1988; 147 (6): 548-555.

Jur, a. (2016). No title, 1–25.

Kavet r. Emf and current cancer concepts. *Bioelectromagnetic*. 1996; 17: 339-357.

Kheifets li, afifi aa, Buffeler pa, zhang zw, matkin cc. Occupational electric and magnetic field exposure and leukemia. A meta – analysis. *J. Occup. Environ med*. 1997.

Kramarenko, a.v. & tan u. 2003. Effects of high- frequency electromagnetic fields on human eeg: a brain mapping study. *International journal of neuroscience*, 113: 1007-1019.

Kunt, h., şentürk, i., gönül, y., korkmaz, m., ahsen, a., hazman, ö., . . . Songur, a. (2016). Effects of electromagnetic radiation exposure on bone mineral density, thyroid, and oxidative stress index in electrical workers. *Oncotargets and therapy*, 9, 745-754. Doi:10.2147/ott.s94374

Kurjane, n., zvagule, t., reste, j., martinsone, z., pavlovskā, i., martinsone, i., & vanadzins, i. (2017). The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees. *Journal of nanoparticle research*, 19(9) doi:10.1007/s11051-017-4004-6

- Li, y., & héroux, p. (2019). Magnetic fields trump oxygen in controlling the death of erythro-leukemia cells. *Applied sciences (switzerland)*, 9(24) doi:10.3390/app9245318
- Lin, j.c. 1994. Advances in electromagnetic fields in living systems. Volume 1. Plenum press. New york.
- Lis-gutiérrez, j. P. (2019). Estudios de mercado.
- Litchfield, i., van tongeren, m., & sorahan, t. (2017). Radiofrequency exposure amongst employees of mobile network operators and broadcasters. *Radiation protection dosimetry*, 175(2), 178-185. Doi:10.1093/rpd/ncw283
- Malek, f., rani, k. A., rahim, h. A., & omar, m. H. (2015). Effect of short-term mobile phone base station exposure on cognitive performance, body temperature, heart rate and blood pressure of malaysians. *Scientific reports*, 5 doi:10.1038/srep13206
- Mangosio, jorge enrique (2008). Universidad de buenos aires. Facultad de ingeniería. Departamento de seguridad y ambiente. Buenos aires, argentina
- Migault, l., bowman, j. D., kromhout, h., figuerola, j., baldi, i., bouvier, g., . . . Vila, j. (2019). Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 khz–300 ghz). *Annals of work exposures and health*, 63(9), 1013-1028. Doi:10.1093/annweh/wxz067
- Montes, i. De, leyes, d., & decreto, r. (1997). Ntp 698 : campos electromagnéticos entre 0 hz y 300 ghz : criterios icnirp para valorar la exposición laboral, 1–5.
- Moulder j e, foster k r. Biological effects of power-frequency fields as they relate to carcinogenesis. *Proc soc exp med biol*. 1995; 209: 309-324.

Organización mundial de la salud oms. *¿qué son los campos electromagnéticos?* Disponible en:

<https://www.who.int/peh->

[emf/about/whatisemf/es/#:~:text=campos%20electromagn%C3%A9ticos%20de%20frecuencias%20altas&text=estos%20campos%20se%20utilizan%20para,altas%20del%20orden%20de%20ghz](https://www.who.int/peh-emf/about/whatisemf/es/#:~:text=campos%20electromagn%C3%A9ticos%20de%20frecuencias%20altas&text=estos%20campos%20se%20utilizan%20para,altas%20del%20orden%20de%20ghz)

Pablo e. Gil – loyzaaga; alejandro úbeda maeso (2001). Ondas electromagnéticas y salud. Informes sanitarios siglo xxi, secretaria de coordinación. Servicio de bioelectromagnética, departamento de investigación; hospital ramón y cajal, 28034 madrid, 2001.

Panagopoulos, d. J. (2019). Chromosome damage in human cells induced by umts mobile telephony radiation. *General physiology and biophysics*, 38(5), 445-454. Doi:10.4149/gpb_2019032

Parra, m. (n.d.). Eje para la acción sindical. Conceptos básicos en salud laboral conceptos básicos en salud laboral.

Peters, t. L., kamel, f., lundholm, c., feychting, m., weibull, c. E., sandler, d. P., . . . Fang, f. (2017). Occupational exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. *Occupational and environmental medicine*, 74(2), 87-92. Doi:10.1136/oemed-2016-103700

Politański, p., aniołczyk, h., gadzicka, e., bortkiewicz, a., & zmyślony, m. (2018). Electromagnetic fields exposure assessment among workers at broadcast centers in poland. *Medycyna pracy*, 69(5), 477-482. Doi:10.13075/mp.5893.00685

Roberto, m. C., & sampieri, h. (n.d.). Metodología dela investigación.

- Romeo, s., sannino, a., scarfì, m. R., massa, r., dangelo, r., & zeni, o. (2016). Lack of effects on key cellular parameters of mrc-5 human lung fibroblasts exposed to 370 mt static magnetic field. *Scientific reports*, 6 doi:10.1038/srep19398
- Sajedifar, j., nassiri, p., monazzam, m. R., shamsipour, m., & ramezani, r. (2019). The effect of battery charge levels of mobile phone on the amount of electromagnetic waves emission. *Journal of environmental health science and engineering*, 17(1), 151-159. Doi:10.1007/s40201-019-00336-3
- Sáiz i. Y solano j. (s.f.). Efectos biológicos del campo electromagnético. Universidad de cantabria. Grupo de electromagnetismo. Disponible en: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1926/course/section/2221/apuntes_4.pdf
- Sannino, a., romeo, s., scarfì, m. R., massa, r., d'angelo, r., petrillo, a., . . . Zeni, o. (2017). Exposure assessment and biomonitoring of workers in magnetic resonance environment: an exploratory study. *Frontiers in public health*, 5 doi:10.3389/fpubh.2017.00344
- Santiago vega shirly (2019). Estado del arte de la relación existente entre el daño a la salud y la exposición ocupacional a benceno en trabajadores de estaciones de gasolina. Universidad industrial de santander. Bucaramanga, colombia.
- Santini, r seigne, m & bonhomme – faibre, l. 2000. Danger des téléphones cellulaires et de leurs stations relais. *Pathologie biologie*, 48: 525 – 528.
- Savitz da, loomis dp. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *American journal of epidemiology* 1995; 141: 123 – 134

- Schoeni, a., roser, k., bürgi, a., & röösli, m. (2016). Symptoms in swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: a prospective cohort study. *Environmental health: a global access science source*, 15(1) doi:10.1186/s12940-016-0158-4
- Shrivastava, p., & rama rao, t. (2017). Investigations of sar distributions and temperature elevation on human body at 60ghz with corrugated antipodal linear tapered slot antenna. *Progress in electromagnetics research m*, 59, 111-121. Doi:10.2528/pierm17041707
- Simkó, m., & mattsson, m. -. (2019). 5g wireless communication and health effects—a pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 ghz. *International journal of environmental research and public health*, 16(18) doi:10.3390/ijerph16183406
- Stegé, t. A. M., bolte, j. F. B., claassen, l., & timmermans, d. R. M. (2020). Electromagnetic field exposure in power plants: a qualitative assessment of work safety perceptions among employees. *Journal of risk research*, doi:10.1080/13669877.2020.1750459
- Tchernitchin, a. N. (n.d.). Efectos de la radiación electromagnética sobre la salud, 1–24.
- Tettamanti, g., auvinen, a., åkerstedt, t., kojo, k., ahlbom, a., heinävaara, s., . . . Hillert, l. (2020). Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: results from the cohort study of mobile phone use and health (cosmos). *Environment international*, 140 doi:10.1016/j.envint.2020.105687
- Theriault g y cols. Cancer risk associated with occupational exposure to magnetic fields among utility workers in ontario and quebec, canada, and france; 1970 – 1989. *Am j epidemiol* 1994.

- Tourab, w., & babouri, a. (2016). Measurement and modeling of personal exposure to the electric and magnetic fields in the vicinity of high voltage power lines. *Safety and health at work*, 7(2), 102-110. Doi:10.1016/j.shaw.2015.11.006
- Turner, m. C., gracia-lavedan, e., momoli, f., langer, c. E., castaño-vinyals, g., kundi, m., . . . Cardis, e. (2019). Nonparticipation selection bias in the mobi-kids study. *Epidemiology*, 30(1), 145-153. Doi:10.1097/ede.0000000000000932
- Tynes t, haldorsen t. Electromagnetic fields and cancer in children residing near norwegian high-voltage power lines. *Am j epidemiol.* 1997; 145 (3): 219- 226.
- Van wijngaarden e, savitz d a, kleckner r c, cai j, loomis d. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study. *Occup environ med.* 2000; 57 (4): 258-263.
- Vecsei, z., knakker, b., juhász, p., thuróczy, g., trunk, a., & hernádi, i. (2018). Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces eeg alpha power with no effects on cognitive performance. *Scientific reports*, 8(1) doi:10.1038/s41598-018-36353-9
- Vecsei, z., thuróczy, g., & hernádi, i. (2018). The effect of a single 30-min long term evolution mobile phone-like exposure on thermal pain threshold of young healthy volunteers. *International journal of environmental research and public health*, 15(9) doi:10.3390/ijerph15091849
- Velavan, r., bharanidharan, s., & sheeba, b. (2019). Emf pollution - causes, effects and protection. *International journal of innovative technology and exploring engineering*, 8(9 special issue 3), 1166-1168. Doi:10.35940/ijitee.i3254.0789s319

- Vila, j., bowman, j. D., richardson, l., kincl, l., conover, d. L., mclean, d., . . . Cardis, e. (2015). A source-based measurement database for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the interocc study: a literature review approach. *Annals of occupational hygiene*, 60(2), 184-204. Doi:10.1093/annhyg/mev076
- Vila, j., turner, m. C., gracia-lavedan, e., figuerola, j., bowman, j. D., kincl, l., . . . Cardis, e. (2018). Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the interocc study: an individualized assessment approach. *Environment international*, 119, 353-365. Doi:10.1016/j.envint.2018.06.038
- Williams g m, whysner j. Epigenetic carcinogens: evaluation and risk assesment. *Expert toxicol pathol.* 1996; 48: 189-195.
- Wolf fi, torselloa, tedesco b, fasanella s, boninsegna a, d'ascenzo m, grassi c, azzena gb, cittadini a. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja de 50 hz mejoran la proliferación celular y el daño del adn: posible participación de un mecanismo redox. *Biochim biophys acta.* 2005; 1743: 120-129.
- Wood, a. W., lajevardipour, a., & mcintosh, r. L. (2016). Lessons and perspectives from a 25-year bioelectromagnetics research program. *International journal of environmental research and public health*, 13(10) doi:10.3390/ijerph13100950
- Wyde, m. Et al.. Informe de parcial fi hallazgos del estudios de carcinogénesis del programa nacional de toxicología de la radiación de radiofrecuencia de teléfonos celulares en hsd: ratas sprague dawley sd (exposición de todo el cuerpo). *Biorxiv.* (2016).

Zaffanella le, kalton gw. Estudio de exposición personal a campos magnéticos fase ii: estudio de 1000 personas proyecto de ingeniería del programa emfrapid 6. Oak ridge, tn: lockheed martin energy systems, inc; 1998.

Zarakovitis, c. C., ni, q., & kourtis, m. -. (2018). Enabling radioprotection capabilities in next generation wireless communication systems: an ecological green approach. *Transactions on emerging telecommunications technologies*, 29(10) doi:10.1002/ett.3488

Zhang, d., zhang, y., zhu, b., zhang, h., sun, y., & sun, c. (2017). Resveratrol may reverse the effects of long-term occupational exposure to electromagnetic fields on workers of a power plant. *Oncotarget*, 8(29), 47497-47506. Doi:10.18632/oncotarget.17668

Ziegelberger, g., karipidis, k., abramowicz, j., d'inzeo, g., green, a. C., miller, s., . . . Watanabe, s. (2020). Intended human exposure to non-ionizing radiation for cosmetic purposes. *Health physics*, 118(5), 562-579. Doi:10.1097/hp.0000000000001169

Zradziński, p. (2015). Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 21(2), 213-220. Doi:10.1080/10803548.2015.1028233