



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**MAESTRÍA EN SEGURIDAD, SALUD E HIGIENE INDUSTRIAL**

**TEMA:**

---

**EFFECTOS A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA  
SALUD DE LOS TRABAJADORES A NIVEL INDUSTRIAL**

---

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Seguridad, Salud e Higiene Industrial.

**Autor(a)**

Ing. Zapata Ayala César Antonio

**Tutor(a)**

Dr. Comboza Morales Reinaldo

Enrique

AMBATO– ECUADOR

2026

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, César Antonio Zapata Ayala, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “EFECTOS A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES A NIVEL INDUSTRIAL”, como requisito para optar al grado de Magister en Seguridad, Salud e Higiene Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato a los 03 días del mes de Febrero de 2026, firmo conforme:

Autor: César Antonio Zapata Ayala

Firma:

Número de Cédula: 1725562340

Dirección: Pichincha, Quito, Cotacollao, San Carlos.

Correo Electrónico: cesarantoniozapata@gmail.com

Teléfono: +593979269775

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR**

En mi calidad de Director del Trabajo de Titulación “EFECTOS A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES A NIVEL INDUSTRIAL” presentado por César Antonio Zapata Ayala, para optar por el Título de Magister en Seguridad, Salud e Higiene Industrial,

### **CERTIFICO**

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Examinadores que se designe.

Ambato, 30 de Enero del 2026

.....  
Dr. Comboza Morales Reinaldo Enrique

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Seguridad, Salud e Higiene Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 03 de Febrero del 2026

.....

César Antonio Zapata Ayala

1725562340

## **APROBACIÓN DE EXAMINADORES**

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: EFECTOS A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES A NIVEL INDUSTRIAL, previo a la obtención del Título de Magister en Seguridad, Salud e Higiene Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Titulación.

Ambato, 03 de Febrero del 2026

.....

Mg. Abril Camino Andrés Rafael  
EXAMINADOR

.....

Dr. D'Pool Fernández César José  
EXAMINADOR

## **DEDICATORIA**

**A mis padres, por ser un pilar fundamental en mi formación personal y profesional, brindándome siempre su apoyo incondicional y enseñanzas. A mi querido abuelito, quien no pudo acompañarme físicamente en la culminación de esta etapa, pero sé que se siente orgulloso de este logro.**

## **AGRADECIMIENTO**

**Agradezco profundamente a Dios por brindarme la oportunidad de seguir aprendiendo todos los días. A mis padres que no tengo palabras para expresar lo mucho que me han apoyado. A mis presentes maestros que han sido un pilar clave para fortalecer y aumentar mis conocimientos en el área de Seguridad, salud e Higiene Industrial y mi tutor de tesis que ha sido mi guía para lograr el desarrollo del presente trabajo.**

.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL .....	ii
APROBACIÓN DEL DIRECTOR .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	iv
APROBACIÓN EXAMINADORES .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	x
RESUMEN EJECUTIVO .....	xi
ABSTRACT .....	xii

### CAPÍTULO I

Resumen .....	1
Abstract .....	2
Introducción .....	3
Revisión de la literatura .....	5
Metodología .....	8
Resultados .....	9
Discusión .....	15
Conclusiones .....	16
Referencias .....	18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Límites aceptables para exposición a CEM (resumen ICNIRP/IEEE, RF $\geq 100$ kHz).....	6
Tabla No. 2: Efectos directos .....	11
Tabla No. 3: Efectos indirectos .....	11
Tabla No. 4: Métricas de Seguimiento Post-Implementación (IEEE Std C95.3-2021) ..	14

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1: Protocolo Prisma 2020 .....	10
Imagen No. 2: Gestión de la exposición humana a los CEM.....	13

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**MAESTRÍA EN SEGURIDAD, SALUD E HIGIENE INDUSTRIAL**

**TEMA:** EFECTOS A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES A NIVEL INDUSTRIAL

**AUTOR(A):** Ing. Zapata Ayala César Antonio

**TUTOR (A):** Dr. Comboza Morales Reinaldo Enrique

**RESUMEN EJECUTIVO**

Este estudio analizó los efectos de la exposición a campos electromagnéticos en la salud de trabajadores de entornos industriales, con el propósito de identificar riesgos prioritarios y orientar decisiones de control en escenarios de creciente electrificación. Se aplicó una revisión sistemática de literatura con enfoque cualitativo. Entre septiembre de 2024 y marzo de 2025 se recopilaron documentos en Google Scholar, ScienceDirect, PubMed e IEEE Xplore. Se cribaron 88 registros, se evaluaron 61 textos completos y 45 cumplieron los criterios de inclusión, de los cuales 29 fueron finalmente analizados. El estudio integró además el marco técnico y organizacional vigente sobre límites de exposición, métodos de medición y gestión preventiva. Los hallazgos mostraron efectos que coinciden con los mecanismos físicos conocidos. A frecuencias muy bajas, se observaron fenómenos de estimulación en los músculos y los sentidos. En cambio, en radiofrecuencia, se encontraron efectos térmicos que dependen de la potencia, el tiempo de exposición y la distancia a la fuente. También se reportaron alteraciones en biomarcadores antioxidantes, variaciones en la densidad mineral ósea, interferencias con dispositivos médicos y una marcada variabilidad según el entorno laboral. Se recomendó evaluar por tarea y puesto, emplear métricas dosimétricas trazables y priorizar controles de ingeniería, complementados con prendas de apantallamiento cuando sea necesario. Se constató la ausencia de regulación ocupacional específica en el país y se propusieron indicadores operativos para el seguimiento y la mejora continua. Establecer límites internacionales, realizar mediciones periódicas y promover investigaciones locales de largo plazo resultan esenciales para reducir la exposición innecesaria y fortalecer la seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, se planteó una agenda mínima de investigación aplicada y de cooperación academia-industria nacional.

**DESCRIPTORES:** campos electromagnéticos, exposición profesional, normalización, salud ocupacional, seguridad en el trabajo.

## ABSTRACT

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

MASTER'S DEGREE IN SECURITY, HEALTH AND INDUSTRIAL HYGIENE

**AUTHOR:** ZAPATA AYALA CESAR ANTONIO

**TUTOR:** MSc. COMBOZA MORALES REINALDO ENRIQUE

### THEME

EFFECTS OF EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE HEALTH OF INDUSTRIAL WORKERS

### ABSTRACT

This study examined the impact of exposure to electromagnetic fields on the health of workers in industrial environments, aiming to identify priority risks and inform control decisions in contexts of increasing electrification. A systematic literature review with a qualitative approach was conducted. Between September 2024 and March 2025, documents were collected from Google Scholar, ScienceDirect, PubMed, and IEEE Xplore. A total of 88 records were screened, 61 full texts were assessed, and 45 met the inclusion criteria, of which 29 were ultimately analyzed. The study also integrated the current technical and organizational framework regarding exposure limits, measurement methods, and preventive management. The findings revealed effects consistent with known physical mechanisms. At very low frequencies, stimulation phenomena affecting muscles and sensory systems were observed. In contrast, at radiofrequency levels, thermal effects were identified, depending on power, exposure time, and distance from the source. Alterations in antioxidant biomarkers, variations in bone mineral density, interference with medical devices, and marked variability according to the work environment were also reported. It was recommended to conduct assessments by task and job position, use traceable dosimetric metrics, and prioritize engineering controls, complemented by the use of shielding garments when necessary. The absence of specific occupational regulation in the country was noted, and operational indicators were proposed for monitoring and continuous improvement. Establishing international limits, conducting periodic measurements, and promoting long-term local research are crucial to reducing unnecessary exposure and enhancing occupational health and safety. Additionally, a minimum agenda for applied research and national academia–industry cooperation was proposed.

**KEYWORDS:** electromagnetic fields, occupational exposure, occupational health, standardization, workplace safety.



# Efectos a la exposición a campos electromagnéticos en la salud de los trabajadores a nivel industrial

## *Effects of exposure to electromagnetic fields on the health of industrial workers*

César Antonio Zapata Ayala<sup>1</sup>, Reinaldo Enrique Comboza Morales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Indoamérica. Ambato, Ecuador

czapata7@indoamerica.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-6570-711X>

dr-reinaldocomboza@outlook.com

<https://orcid.org/0009-0009-9921-1230>

**Correspondencia:** czapata7@indoamerica.edu.ec

Recibido: 12/06/2025

| Aceptado: 13/09/2025

| Publicado: 15/10/2025

### Resumen

Este estudio analizó los efectos de la exposición a campos electromagnéticos en la salud de trabajadores de entornos industriales, con el propósito de identificar riesgos prioritarios y orientar decisiones de control en escenarios de creciente electrificación. Se aplicó una revisión sistemática de literatura con enfoque cualitativo. Entre septiembre de 2024 y marzo de 2025 se recopilaron documentos en Google Scholar, ScienceDirect, PubMed e IEEE Xplore. Se cribaron 88 registros, se evaluaron 61 textos completos y 45 cumplieron los criterios de inclusión, de los cuales 29 fueron finalmente analizados. El estudio integró además el marco técnico y organizacional vigente sobre límites de exposición, métodos de medición y gestión preventiva. Los hallazgos mostraron efectos que coinciden con los mecanismos físicos conocidos. A frecuencias muy bajas, se observaron fenómenos de estimulación en los músculos y los sentidos. En cambio, en radiofrecuencia, se encontraron efectos térmicos que dependen de la potencia, el tiempo de exposición y la distancia a la fuente. También se reportaron alteraciones en biomarcadores antioxidantes, variaciones en la densidad mineral ósea, interferencias con dispositivos médicos y una

marcada variabilidad según el entorno laboral. Se recomendó evaluar por tarea y puesto, emplear métricas dosimétricas trazables y priorizar controles de ingeniería, complementados con prendas de apantallamiento cuando sea necesario. Se constató la ausencia de regulación ocupacional específica en el país y se propusieron indicadores operativos para el seguimiento y la mejora continua. Establecer límites internacionales, realizar mediciones periódicas y promover investigaciones locales de largo plazo resultan esenciales para reducir la exposición innecesaria y fortalecer la seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, se planteó una agenda mínima de investigación aplicada y de cooperación academia-industria nacional.

**Palabras clave:** campos electromagnéticos, exposición profesional, normalización, salud ocupacional, seguridad en el trabajo.

### **Abstract**

This study examined the impact of exposure to electromagnetic fields on the health of workers in industrial environments, aiming to identify priority risks and inform control decisions in contexts of increasing electrification. A systematic literature review with a qualitative approach was conducted. Between September 2024 and March 2025, documents were collected from Google Scholar, ScienceDirect, PubMed, and IEEE Xplore. A total of 88 records were screened, 61 full texts were assessed, and 45 met the inclusion criteria, of which 29 were ultimately analyzed. The study also integrated the current technical and organizational framework regarding exposure limits, measurement methods, and preventive management. The findings revealed effects consistent with known physical mechanisms. At very low frequencies, stimulation phenomena affecting muscles and sensory systems were observed. In contrast, at radiofrequency levels, thermal effects were identified, depending on power, exposure time, and distance from the source. Alterations in antioxidant biomarkers, variations in bone mineral density, interference with medical devices, and marked variability according to the work environment were also reported. It was recommended to conduct assessments by task and job position, use traceable dosimetric metrics, and prioritize engineering controls, complemented by the use of shielding garments when necessary. The absence of specific occupational regulation in the country was noted, and operational indicators were proposed for monitoring and continuous improvement. Establishing international limits, conducting

periodic measurements, and promoting long-term local research are crucial to reducing unnecessary exposure and enhancing occupational health and safety. Additionally, a minimum agenda for applied research and national academia–industry cooperation was proposed.

**Keywords:** electromagnetic fields, occupational exposure, occupational health, standardization, workplace safety.

## Introducción

Los campos electromagnéticos, definidos como una forma de energía compuesta por campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan en el espacio (Pérez, 2018), están omnipresentes en la sociedad moderna. La exposición a CEM es constante y proviene tanto de fuentes naturales como artificiales. Sin embargo, es en los entornos laborales vinculados al área eléctrica donde dicha exposición puede alcanzar niveles preocupantes. Diversos estudios han evidenciado que estos campos tienen el potencial de alterar funciones biológicas importantes. La creciente automatización y el uso intensivo de tecnologías eléctricas incrementan dicha exposición. Por ello, resulta fundamental analizar sus posibles efectos sobre la salud humana (Kivrak et al., 2017; Danulescu et al., 2012).

La operación de infraestructura eléctrica, como líneas y equipos, genera CEM. Cuando un individuo se encuentra en presencia de estos campos, se pueden inducir corrientes eléctricas en el cuerpo, lo que resulta en una transferencia de energía interna (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 2020; Chimbo Llumitaxi, 2023). Los valores de CEM pueden verificarse mediante simulaciones y análisis dosimétricos mediante el espectro de frecuencia electromagnética (Judáková & Janoušek, 2019); se subdivide generalmente en baja frecuencia y alta frecuencia, según los estándares definidos por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), OMS e Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) (Loock, 2007).

Las recomendaciones de la OMS, sustentadas en las directrices de la ICNIRP, constituyen el estándar internacional para la protección frente a la exposición a CEM, estableciendo

límites basados en la tasa de absorción específica (SAR), densidad de potencia y efectos de estimulación nerviosa y muscular (ICNIRP, 2020). Estos criterios técnicos se articulan en los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo a través de la ISO 45001:2018, la cual exige identificar peligros, evaluar riesgos, aplicar controles de ingeniería y administrativos, y garantizar formación especializada para trabajadores expuestos o con condiciones sensibles (ISO 45001:2018, 2018). De igual manera, la OIT, mediante los convenios C155 y C187, así como la guía OSH 2001, refuerza la obligación de los empleadores de gestionar los riesgos físicos derivados de los CEM, integrándolos en políticas preventivas y promoviendo la mejora continua (OIT, 2017; OIT, 2002). La convergencia de estas normativas asegura un enfoque integral, donde la ciencia de la ICNIRP aporta criterios de exposición, la ISO 45001 establece el marco de gestión organizacional y la OIT define obligaciones laborales y sociales. Este alineamiento normativo permite garantizar la protección de los trabajadores en actividades con fuentes de radiofrecuencia y baja frecuencia, promover la cultura preventiva y asegurar el cumplimiento tanto legal como técnico en materia de seguridad y salud ocupacional (OIT, 2017).

La implementación de nuevas tecnologías aporta en el desarrollo de la sociedad; generan campos electromagnéticos de frecuencias mayormente bajas. A diferencia de la radiación ionizante, estos campos no tienen la capacidad de alterar enlaces químicos, pero pueden interactuar con la materia de otras formas, como a través de la generación de calor (Ryan & Williams, 1994).

Las investigaciones sobre los CEM se han centrado principalmente en su posible vínculo con el cáncer, aunque otros efectos sobre la salud aún no están claramente definidos (Rathebe et al., 2019). La falta de resultados concluyentes ha dificultado la implementación de medidas de control adecuadas. Paralelamente, el desarrollo de tecnologías inalámbricas como el Internet de las Cosas (IoT) y las redes de quinta generación (5G), la cual emite CEM RF en donde la frecuencia oscila entre 600 Hz y 300 GHz, ha transformado los sistemas inteligentes (Chiaraviglio et al., 2021).

Estas tecnologías dependen de antenas planas para transmitir y recibir señales electromagnéticas. Sin embargo, su uso masivo ha incrementado la radiación presente en el entorno. Esta situación genera preocupaciones por posibles interferencias tanto en

equipos electrónicos como en organismos vivos (Meenu et al., 2020). Por ello, se hace necesario seguir evaluando sus implicaciones en la salud pública.

La exposición a la radiación electromagnética puede provocar diversos efectos en la salud humana, específicamente en áreas donde los trabajadores están expuestos de manera constante, y puede causar alteraciones en la piel, trastornos del sueño, mareos, pérdida de concentración, daños en el sistema inmunológico, agotamiento, apatía y cefalea (Kunt et al., 2016). La naturaleza y magnitud de los efectos inducidos por la radiación están determinadas por diversos parámetros físicos y biológicos, entre ellos la intensidad, la frecuencia del campo electromagnético y las condiciones fisiológicas particulares de cada organismo (Alonso Fustel et al., 2011). De manera específica, los efectos térmicos asociados al incremento de la temperatura en los tejidos representan un riesgo biológico considerable.

La evaluación taxonómica de estudios europeos sobre CEM reveló una exposición media de 2 mT. Solo el 5 % de la población supera niveles de 0.01 T. Sin embargo, expertos europeos estiman que el 50 % de las personas están expuestas por encima de ese valor. Además, un 5 % podría estar expuesto a campos mayores a 0.2 T. Estas diferencias reflejan la variabilidad en los criterios y métodos de estimación (Judáková & Janoušek, 2019).

Este artículo de investigación analiza el impacto de la exposición ocupacional a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (FEB) en los diferentes campos industriales, haciendo énfasis en la creciente contaminación electromagnética debido al desarrollo tecnológico y la electrificación, con el fin de contribuir a un esfuerzo científico general de conocimiento acerca de los efectos causados por la exposición ocupacional.

## **Revisión de la literatura**

La discusión contemporánea sobre los campos electromagnéticos (CEM) en contextos industriales exige mirar al mismo tiempo la física de la exposición y la evidencia biomédica. Desde lo físico, los CEM se ordenan por frecuencia y por su capacidad de romper o no enlaces químicos: la radiación ionizante (rayos X, gamma) se distingue de la no ionizante, que no rompe enlaces de forma directa pero sí puede estimular tejidos

excitables en bajas frecuencias o calentar tejidos en radiofrecuencia (Ryan & Williams, 1994). Esta distinción no es retórica: determina métricas y límites diferentes. Por debajo de ~100 kHz predominan los efectos de estimulación (nervio, músculo, retina); por encima de ese umbral, los riesgos se evalúan sobre todo por efectos térmicos. En la práctica, los límites internacionalmente aceptados se toman de las directrices de la ICNIRP (2020), complementadas con la metrología y los programas de seguridad de IEEE (IEEE Standards Association, 2014; 2019; 2021) (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Límites aceptables para exposición a CEM (resumen ICNIRP/IEEE, RF ≥100 kHz)*

<b>Banda / rango</b>	<b>Métrica (tipo)</b>	<b>Límite ocupacional</b>	<b>Límite población general</b>	<b>Promedio temporal</b>
100 kHz – 6 GHz (RF)	SAR corporal total (W/kg) – restricción básica	0.4	0.08	30 min
100 kHz – 6 GHz (RF)	SAR local cabeza/torso (W/kg, 10 g) – restricción básica	10	2	6 min
100 kHz – 6 GHz (RF)	SAR local miembros (W/kg, 10 g) – restricción básica	20	4	6 min
> 6 – 300 GHz (RF)	S <sub>ab</sub> absorbida (W/m <sup>2</sup> , 4 cm <sup>2</sup> ) – restricción básica	100	20	6 min
30 – 400 MHz (RF)	S <sub>inc</sub> incidente (W/m <sup>2</sup> ) – nivel de referencia (cuerpo entero)	10	2	30 min
> 2 – 300 GHz (RF)	S <sub>inc</sub> incidente (W/m <sup>2</sup> ) – nivel de referencia (cuerpo entero)	50	10	30 min

*Nota.* Las restricciones básicas (SAR, S<sub>ab</sub>) son los límites de cumplimiento primario; los niveles de referencia (S<sub>inc</sub>, E, H) sirven para verificación práctica. En campo cercano (antenas/bobinas) la conformidad debe evaluarse con restricciones básicas. Para bandas intermedias con dependencia de  $\sqrt{f}$  (p. ej., 400–2000 MHz), aplicar las ecuaciones de ICNIRP (2020).

En el plano biomédico, los hallazgos no apuntan a un único desenlace, sino a perfiles de efecto coherentes con los mecanismos físicos. En trabajadores eléctricos, se han descrito alteraciones del sistema antioxidante asociadas a exposición crónica (Kivrak et al., 2017) y cambios en densidad mineral ósea y función tiroidea (Kunt et al., 2016). En escenarios de frecuencia extremadamente baja (ELF), se han observado manifestaciones neurológicas y cardiovasculares compatibles con fenómenos de estimulación tisular, si bien la heterogeneidad de protocolos y dosimetría impone cautela al generalizar (Danulescu et al., 2012; Loock, 2007). Para radiofrecuencia (RF), los estudios experimentales y de ingeniería confirman que el calentamiento tisular depende de potencia incidente, tiempo de exposición, distancia y propiedades dieléctricas del tejido (Meenu et al., 2020). La literatura epidemiológica clásica sobre exposición residencial a ELF y leucemia infantil, aunque no ocupacional sigue siendo un hito metodológico que

aconseja prudencia ante niveles sostenidos de campo magnético en determinados entornos (Green et al., 1999).

Desde la ingeniería, dos líneas sostienen la evaluación en planta. Primero, la caracterización dosimétrica y metrológica: IEEE C95.1-2019 fija niveles de seguridad para 0 Hz–300 GHz; IEEE C95.3-2021 detalla métodos de medición y cómputo (trazabilidad, repetibilidad, calidad); y IEEE C95.7-2014 estructura los programas de seguridad RF (formación, verificación, registros) (IEEE Standards Association, 2014; 2019; 2021). Segundo, el contexto de microambientes: la exposición real varía por proceso (inducción, hornos, líneas y subestaciones, salas con bobinas), disposición del equipo y apantallamientos. Estudios in situ y análisis de escenarios corroboran esta variabilidad y justifican evaluaciones por tarea y puesto (Judáková & Janoušek, 2019; Zeyad et al., 2017). En 5G y sistemas inalámbricos densos, los análisis desde la ingeniería de comunicaciones insisten en anclar la discusión sanitaria en dosimetría realista y límites validados, sin extrapolaciones alarmistas ni complacientes (Chiaraviglio et al., 2021). En cuanto a control, además de reconfigurar layouts o apantallar fuentes, gana terreno la ropa de protección con apantallamiento: su eficacia depende de diseños multicapa, continuidad eléctrica en costuras y control de aberturas (Wang et al., 2015).

El marco regulatorio y de gestión integra ciencia, norma técnica y organización. Las Directrices ICNIRP (2020) proveen criterios y límites que varios países han incorporado a su derecho interno; en España, el Real Decreto 299/2016 define CEM de 0 Hz a 300 GHz y distingue efectos directos (térmicos y de estimulación) e indirectos (interferencia con dispositivos médicos, proyección de ferromagnéticos, corrientes de contacto), lo que facilita matrices de peligro y controles específicos (Agencia Estatal BOE, 2016). A nivel de sistemas, ISO 45001:2018 obliga a identificar peligros, evaluar riesgos y desplegar controles de ingeniería y administrativos junto con formación; la OIT refuerza un enfoque preventivo con las Directrices ILO-OSH 2001 y la campaña de ratificación de los convenios C155 y C187 (Organización Internacional del Trabajo, 2002, 2017; ISO, 2018). En el contexto ecuatoriano, la Constitución y la Ley Orgánica de Salud instauran principios de prevención y responsabilidad por daño, mientras que el Plan Maestro de Electricidad enmarca el despliegue de infraestructura que vuelve urgente institucionalizar protocolos de medición y control específicos para CEM ocupacionales (Constitución de

la República del Ecuador, 2008; Ley Orgánica de Salud, 2015; Plan Maestro de Electricidad, 2024). A nivel local, trabajos como el de Chimbo Llumitaxi (2023) discuten el principio de precaución frente a la contaminación electromagnética; desde el ámbito jurídico-sanitario, Pérez Alonso (2018) examina electrosensibilidad y condiciones de prevención, y el compendio del Gobierno Vasco traduce estos criterios a un lenguaje operativo de salud pública (Alonso Fustel et al., 2011).

En síntesis, la literatura converge en una gestión proporcional al riesgo: (i) interpretar resultados separando con rigor los efectos de estimulación (ELF) de los térmicos (RF); (ii) medir con protocolos trazables y repetibles (IEEE C95.3-2021) y decidir con base en límites ICNIRP (2020); y (iii) cerrar brechas regulatorias mediante procedimientos ISO 45001 y obligaciones OIT, articulados con la normativa nacional. Para Ecuador, las prioridades pasan por adoptar formalmente los límites internacionales, medir en puestos críticos (líneas, subestaciones, inducción, hornos), formar a personal y mandos, y sostener revisiones sistemáticas de la evidencia con metodologías transparentes tipo PRISMA (Moher et al., 2009; Torres Carrión et al., 2018).

## **Metodología**

La investigación se centra en una revisión sistemática de la literatura y utiliza un enfoque cualitativo. Se busca explorar el tema, desarrollando habilidades para buscar y filtrar información según la estrategia establecida (Torres Carrión et al., 2018). Para su desarrollo se emplearon diferentes métodos teóricos y fue utilizado en el análisis de la evolución histórica e influencias principales relacionadas con emisiones electromagnéticas directamente proporcionales con el desarrollo tecnológico desde la segunda revolución industrial, en donde llega el auge de la electricidad como la principal partícipe en la gran industria, y esta se ha sostenido hasta la actualidad. También se utilizaron el análisis-síntesis y la inducción-deducción, los cuales permitieron conformar los fundamentos teóricos y las bases del estudio.

Estrategia de búsqueda. Se recopiló información importante para la revisión sistemática de literatura desde el mes de septiembre de 2024 hasta el mes de marzo de 2025, en donde se indagó diferentes fuentes de información como: Google Scholar, Science Direct, PubMed e IEEE Xplore. Para adquirir información actualizada, se realizó la búsqueda en

idioma inglés y español, en donde se usaron términos específicos referentes al tema de CEM, en la cual se estableció extraer información únicamente de artículos relevantes de los últimos 25 años publicados en revistas de alto impacto, artículos relevantes de los últimos 10 años publicados en revistas de medio impacto, conferencias dadas en los últimos 15 años y estatutos, los cuales estén vigentes nacionales (Ecuador) o internacionales.

## **Resultados**

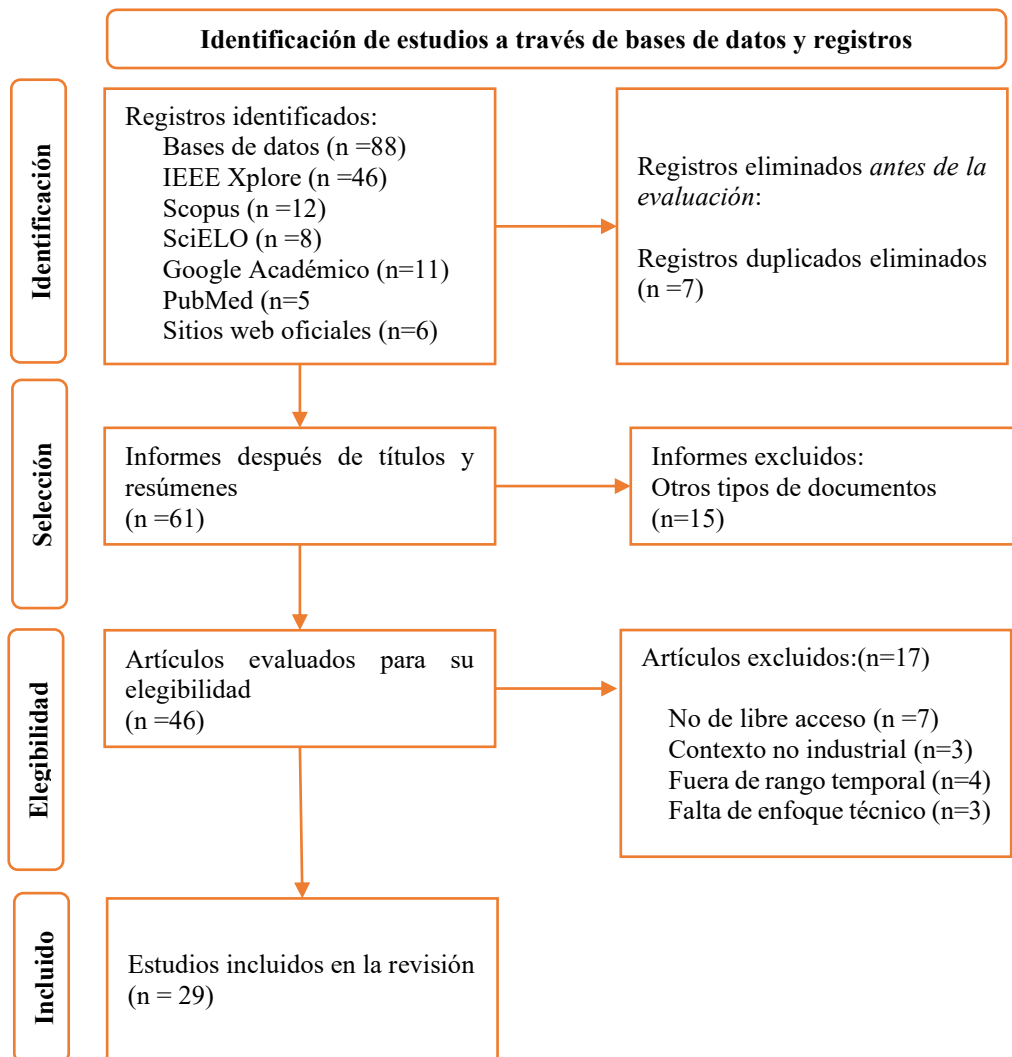
Búsqueda. Para recopilar información para la revisión sistemática de literatura, se revisaron los títulos y resúmenes de 88 artículos científicos, tesis, conferencias y estándares, y se encontraron 7 artículos que estaban duplicados. Para la lectura completa de los documentos, se seleccionó 61 referencias y se excluyó los 28 restantes. Se tomó en consideración de elegibilidad a 45 referencias para la revisión final, en donde se descartaron 17 por diferentes razones, como lo son:

- No son de libre acceso un total de siete referencias.
- No contienen contexto relacionado con la industria un total de tres referencias.
- Se encuentran fuera del rango de tiempo establecido un total de cuatro referencias.
- No tienen un enfoque técnico como el que se busca; un total de tres referencias.

La búsqueda para realizar este artículo de revisión de literatura se dio teniendo en consideración a PRISMA como el proceso de selección de estudios (Moher et al., 2009). Los resultados obtenidos en la búsqueda son un total de 29, los cuales se incluyeron en las referencias y se muestran en la Figura 1.

**Figura 1**

*Protocolo Prisma 2020.*



Normativa relacionada con los efectos de los campos electromagnéticos. El artículo 2 del Real Decreto 299/2016 establece la normativa aplicable a los campos electromagnéticos, incluyendo su definición, los efectos que pueden producir y los límites de exposición permitidos. Define los campos electromagnéticos como aquellos campos eléctricos y magnéticos, tanto estáticos como variables en el tiempo, con frecuencias que van desde 0 Hz hasta 300 GHz (Agencia Estatal BOE, 2016).

Asimismo, la norma clasifica los efectos en el cuerpo humano en dos categorías principales:

1. Efectos directos: Impactan directamente al cuerpo humano al estar expuesto a campos electromagnéticos (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Efectos directos*

<b>Tipo de Efecto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
Efectos térmicos	Calentamiento de los tejidos por absorción de energía de los campos electromagnéticos.	Técnico cerca de antena de alta potencia siente calor en la piel.
Efectos no térmicos	Estimulación de músculos, nervios u órganos sensoriales. Pueden causar vértigo, fosfenos, alteraciones temporales cognitivas o motoras, afectando la seguridad del trabajador.	Operador en sala de resonancia magnética siente vértigo y fosfenos.
Corrientes en las extremidades	Paso de corriente eléctrica por brazos o piernas debido al campo electromagnético.	Brazo de trabajador junto a bobina de inducción sufre cosquilleo.

2. Efectos indirectos: Provocados por la interacción de los campos con objetos que representan un riesgo adicional (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Efectos indirectos*

<b>Tipo de Efecto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
Interferencia con dispositivos médicos	Marcapasos, implantes u otros dispositivos electrónicos médicos usados por el trabajador.	CEM altera el ritmo de marcapasos de un operario.
Proyección de objetos ferromagnéticos	Objetos metálicos pueden ser atraídos violentamente por campos magnéticos estáticos.	Herramientas metálicas pueden experimentar desplazamientos súbitos, generando riesgo de impacto y caída de objetos.
Activación de dispositivos electro-explosivos	Riesgo de activación accidental de detonadores u otros dispositivos explosivos.	Radio de alta potencia dispara detonador en mina.
Incendios y explosiones	Encendido de materiales inflamables por chispas inducidas, corrientes de contacto o descargas.	Chispa inducida en taller de pintura enciende vapores.
Corrientes de contacto	Corriente que pasa del objeto al cuerpo humano al tocarlo, debido a la presencia del campo.	Descarga electrostática al tocar carcasa metálica cargada por campo eléctrico.

El marco regulatorio europeo para la exposición a CEM se fundamenta predominantemente en las directrices establecidas por la ICNIRP (2020). La versión inicial de 1998 se concentraba principalmente en la prevención de efectos agudos y a corto plazo de la exposición. A partir de estas directrices, el Consejo de la Unión Europea emitió en 1999 la Recomendación 1999/519/CE para limitar la exposición del público a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz, estableciendo restricciones y niveles de referencia, aunque sin carácter vinculante. Cada país de la UE adapta estas recomendaciones a su legislación nacional, como ocurrió en España con la publicación

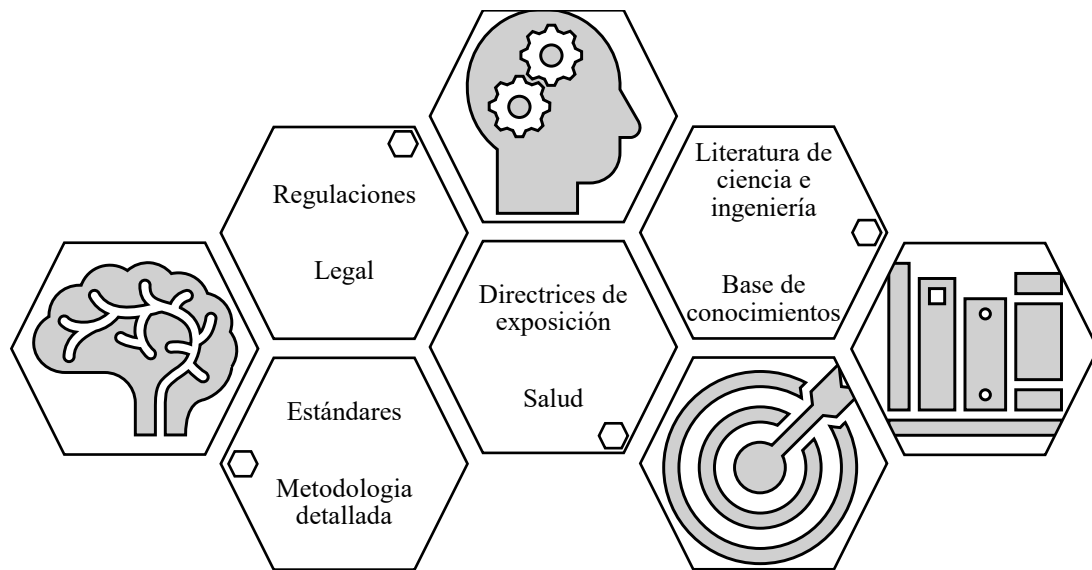
del RD 1066/2001, que regula las emisiones radioeléctricas y establece medidas de protección sanitaria (Alonso Fustel et al., 2011).

En Ecuador, no existe una normativa específica que regule la exposición ocupacional a CEM. La legislación vigente se limita a disposiciones generales sobre seguridad industrial. Se propone adoptar los lineamientos de la ICNIRP y establecer protocolos de medición periódica en entornos laborales. Los estándares y normativas nacionales tienen un enfoque más general acerca de la salud, como lo es el Artículo 369 de la Constitución, en donde establece principios para imponer responsabilidad objetiva por daños ambientales, para prevenir y reparar daños (Constitución de la República del Ecuador, 2008). También en la Ley orgánica de salud de Ecuador, en los artículos 108, 109 y 110, enfatizan la importancia de promover educación para la salud para la prevención de enfermedades, mediante el control sanitario y límites de exposición (Ley orgánica de salud, 2015).

Guía para mediciones y cálculos de CEM con respecto a la exposición humana. Para evaluar CEM, se recomienda principalmente complementar la información existente sobre el tema, no sustituirla, basándose en literatura científica e ingeniería que estudia cómo interactúan los CEM con el cuerpo humano, como lo indica la Figura 2, la cual da a conocer los factores más importantes para la gestión de dicha exposición. Las directrices de exposición, como las recogidas en el estándar IEEE Std C95.1-2019, ayudan a establecer límites seguros de exposición, mientras que las normativas legales y las normas de producto ofrecen requisitos y metodologías específicas para controlar dicha exposición (IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 300 GHz, 2021).

**Figura 2**

*Gestión de la exposición humana a los CEM*



*Nota.* Adaptado de *Gestión de la exposición humana a los CEM*, de Zapata, 2025.

La práctica recomendada proporciona orientación detallada para realizar evaluaciones de exposición a CEM que sean fiables, trazables, repetibles y de alta calidad. Además, incluye recomendaciones sobre cómo desarrollar e implementar metodologías de evaluación acordes con las mejores prácticas internacionales. También se hace énfasis en la necesidad de una actualización constante, ya que las normas y técnicas evolucionan con el avance tecnológico. Esta práctica puede adaptarse a diversas normativas y se complementa con normas como la IEEE Std C95.1-2019 y la IEEE Std C95.1-2345-2014, ofreciendo un enfoque flexible y riguroso para la protección de la salud humana frente a los CEM (IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 300 GHz, 2021).

En concordancia con el IEEE Std C95.3<sup>TM</sup>-2021 y los límites de exposición del IEEE Std C95.1<sup>TM</sup>-2019, se establecen métricas de seguimiento post-implementación destinadas a evaluar la eficacia de las medidas aplicadas para reducir los riesgos asociados a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos CEM (IEEE Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 KHz to 300 GHz, 2014). Estas métricas permiten realizar un seguimiento sistemático y cuantificable del impacto de las acciones preventivas y correctivas sobre la salud ocupacional, la seguridad

operativa y el cumplimiento normativo, incluyendo categoría, métrica, fórmula y/o método de cálculo, frecuencia de medición, alcance y referencia, como se indica en la Tabla 4 (IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz, 2019). Asimismo, constituyen una herramienta clave para la mejora continua, optimizando los programas de control y la capacitación del personal. Los indicadores incluyen la reducción de síntomas vinculados a la exposición, la disminución de incidentes por interferencia electromagnética, la verificación del cumplimiento de límites establecidos, la estabilidad de las condiciones de exposición, la cobertura de capacitación y la agilidad en la corrección de desviaciones. Cada uno de ellos cuenta con respaldo en apartados específicos del estándar, garantizando su coherencia con las mejores prácticas internacionales y su pertinencia técnica (IEEE Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 KHz to 300 GHz, 2014; IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz, 2019).

**Tabla 4**

*Métricas de Seguimiento Post-Implementación (IEEE Std C95.3-2021)*

<b>Categoría</b>	<b>Métrica</b>	<b>Fórmula / Método de cálculo</b>	<b>Frecuencia de medición</b>	<b>Alcance</b>	<b>Referencia IEEE</b>
Salud ocupacional	Reducción de síntomas asociados a exposición (cefalea, fatiga, mareos, alteraciones sensoriales)	$\% \text{ Reducción} = \frac{((\text{Casos antes} - \text{Casos después}) \div \text{Casos antes}) \times 100}{}$	Trimestral	$\geq 20\%$ reducción en 6 meses	Sección 3.1, definición de Efecto adverso para la salud
Seguridad operativa	Disminución de incidentes por interferencia electromagnética (EMI)	$\% \text{ Reducción} = \frac{((\text{Incidentes después} - \text{Incidentes antes}) \div \text{Incidentes antes}) \times 100}{}$	Mensual	$\geq 30\%$ reducción anual	Sección 1.4, sobre peligros no biológicos e interferencia electromagnética
Cumplimiento normativo	Porcentaje de mediciones dentro de los límites de exposición IEEE C95.1	$(\text{N}^\circ \text{ mediciones conformes} / \text{N}^\circ \text{ total mediciones}) \times 100$	Semestral	100%	Sección 1.3.e sobre relación con IEEE C95.1-2019
Control técnico	Estabilidad de valores de densidad de potencia o campo eléctrico	Comparación de mediciones periódicas vs. línea base (en V/m o W/m <sup>2</sup> )	Trimestral	$\pm 5\%$ respecto a línea base	Anexo A, métricas relevantes a densidad de CEM
Capacitación	Cobertura de entrenamiento	$(\text{Trabajadores capacitados} / \text{Total expuestos}) \times 100$	Semestral	$\geq 95\%$	Sección 1.3.d, roles de profesionales y programas de

Tiempo de respuesta	en prevención de riesgos por CEM Promedio de tiempo en corregir mediciones fuera de norma	Sumatoria de tiempos de corrección / N° incidentes	Mensual	≤7 días	seguridad IEEE C95.7-2014 Sección 5.8 sobre registros, informes y procedimientos de seguimiento
---------------------	--	--	---------	---------	--

## Discusión

La evidencia revisada muestra que la caracterización del riesgo por CEM en entornos industriales debe sostenerse en dos pilares complementarios: (i) los mecanismos físico-biológicos diferenciados por banda estimulación neuromuscular y sensorial en ELF (<100 kHz) frente a efectos térmicos en RF ( $\geq 100$  kHz) y (ii) la verificación metrológica con métodos trazables (ICNIRP, 2020; IEEE Standards Association, 2014, 2019, 2021). Esta distinción, reflejada en la Tabla 1, evita extrapolaciones y orienta la selección de métricas (SAR, S<sub>inc</sub>, E, H) y promedios temporales apropiados para demostrar cumplimiento.

En el plano biomédico, los estudios en trabajadores eléctricos sugieren alteraciones del sistema antioxidante ante exposiciones prolongadas (Kivrak et al., 2017) y cambios en densidad mineral ósea y función tiroidea (Kunt et al., 2016). En ELF, se reportan manifestaciones neurológicas y cardiovasculares compatibles con fenómenos de estimulación (Danulescu et al., 2012; Loock, 2007). Para RF, los trabajos experimentales confirman que el calentamiento tisular depende de la potencia incidente, el tiempo, la distancia y las propiedades dieléctricas del tejido (Meenu et al., 2020). Desde la epidemiología, el estudio clásico de exposición residencial a ELF y leucemia infantil (Green et al., 1999) aunque no ocupacional invita a la prudencia ante niveles sostenidos de campo magnético. En conjunto, los hallazgos respaldan una asociación plausible entre exposición y cambios biológicos, pero adolecen de limitaciones metodológicas (tamaños muestrales modestos, heterogeneidad dosimétrica y escaso seguimiento longitudinal) que obligan a evitar conclusiones causales tajantes.

En la ingeniería de la exposición, la variabilidad por microambiente (inducción, hornos, líneas y subestaciones, salas con bobinas) y por diseño de planta exige evaluaciones por tarea y puesto con procedimientos repetibles (Judáková & Janoušek, 2019; IEEE C95.3-2021). Además del control de fuente (apantallamientos, distancia, tiempos y potencias),

gana relevancia el EPP con blindaje cuando la jerarquía de controles lo justifica; su eficacia depende de diseños multicapa y continuidad eléctrica (Wang et al., 2015).

El marco normativo ofrece una ruta clara para la gestión. En Europa, el Real Decreto 299/2016 operacionaliza las directrices de ICNIRP y diferencia efectos directos (térmicos/estimulación) de indirectos (interferencias con dispositivos médicos, proyección ferromagnética, corrientes de contacto), útiles para matrices de peligro (Agencia Estatal BOE, 2016; Tablas 2–3). En el plano organizacional, ISO 45001:2018 y ILO-OSH 2001 anclan la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y la formación continua (ISO, 2018; OIT, 2002, 2017). En Ecuador, el andamiaje legal (Constitución; Ley Orgánica de Salud) y el Plan Maestro de Electricidad legitiman la adopción de criterios técnicos internacionales, pero subsiste una brecha específica para exposición ocupacional a CEM que conviene cerrar con reglamentos y protocolos de medición periódica (Constitución de la República del Ecuador, 2008; Ley Orgánica de Salud, 2015; Plan Maestro de Electricidad, 2024; Chimbo Llumitaxi, 2023).

Por último, la propuesta de indicadores operativos (Tabla 4) traduce los estándares IEEE en métricas de seguimiento (cumplimiento de límites, estabilidad de niveles, cobertura de capacitación, tiempo de corrección), habilitando ciclos de mejora continua y auditoría interna. Este enfoque es consistente con la gestión basada en evidencia: medir, comparar contra límites ICNIRP/IEEE y ajustar controles.

## **Conclusiones**

La revisión confirma que la gestión del riesgo por campos electromagnéticos en entornos industriales solo es efectiva cuando se parte de una distinción operativa por frecuencias: en muy bajas frecuencias dominan los fenómenos de estimulación de nervio y músculo, mientras que en radiofrecuencia prevalecen los efectos térmicos. Esta diferencia no es teórica; define qué medir, cómo interpretar los resultados y qué controles priorizar. La evidencia recopilada en trabajadores expuestos, junto con la experiencia de ingeniería, refuerza la necesidad de evaluar la exposición por tarea y puesto, considerando distancias reales, tiempos de permanencia, blindajes y propiedades de las fuentes presentes en planta.

El paso de la verificación puntual al control sostenido exige adoptar límites internacionales vigentes y procedimientos metrológicos trazables, integrados en un programa de seguridad que asigne responsabilidades, documente mediciones y cierre hallazgos. Cuando la exposición se aproxima a los umbrales de referencia o existe incertidumbre razonable, deben prevalecer los controles de ingeniería, como el rediseño de layouts, el apantallamiento, la señalización y la gestión de accesos, antes que las medidas administrativas o el uso de equipo de protección personal. El EPP con apantallamiento es un complemento útil, pero no sustituye la reducción en la fuente ni la gestión de tiempos y distancias.

En el plano institucional, el país requiere una adopción explícita de límites y metodologías de evaluación reconocidas internacionalmente, incorporadas al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Esto implica establecer protocolos de medición periódica en líneas y subestaciones, procesos de inducción y hornos, disponer de reglas claras para personas con dispositivos médicos implantables y sostener un plan de formación técnica recurrente para personal expuesto y mandos. Con indicadores simples, como la conformidad de mediciones, los incidentes por interferencia, la cobertura de capacitación y los tiempos de corrección, es posible mantener la mejora continua y demostrar cumplimiento.

El conocimiento disponible es suficiente para orientar decisiones inmediatas, aunque aún es incompleto para responder a todas las preguntas en clave local. Se vuelve prioritario emprender estudios longitudinales en escenarios de trabajo representativos del país, fortalecer la dosimetría aplicada a microambientes industriales y evaluar la eficacia costo-beneficio de los controles implementados. Con un enfoque que combine la adopción regulatoria y la producción de evidencia propia, la industria puede reducir exposición innecesaria, mejorar su desempeño en seguridad y salud y, al mismo tiempo, dar previsibilidad a la toma de decisiones.

## Referencias

- Agencia Estatal BOE, Boletín Oficial del Estado. (2016, 22 de julio). *Real Decreto 299/2016, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos*. Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2016-7303>
- Alonso Fustel, E., Garcia Vásquez, R., & Onaindia Olalde, C. (2011). *Campos electromagnéticos y efectos en salud*. Gobierno Vasco. [https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/adjuntos/CEM\\_cast.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/adjuntos/CEM_cast.pdf)
- Chiaraviglio, L., Elzanaty, A., & Alouini, M. S. (2021). Health risks associated with 5G exposure: A view from the communications engineering perspective. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2131–2179. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2021.3106052>
- Chimbo Llumitaxi, L. M. (2023). *Principio de precaución ambiental sobre efectos adversos de contaminación electromagnética en la salud humana: Caso Ecuador* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/8c95e990-1c54-4a79-8884-94fa53c03aef>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008, 20 de octubre). Registro Oficial 449. [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- Danulescu, R., Goiceanu, C., Danulescu, E., & Reaboiu, K. (2012). Possible neurological and cardiovascular effects in workers exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. En *2012 International Conference on Electrical and Power Engineering (ICEPE)* (pp. 641–644). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2012.6463800>

Ecuador, Ministerio de Energía y Minas. (2024, 21 de junio). *Acuerdo Ministerial MEM-MEM-2024-0017-A que aprueba el Plan Maestro de Electricidad 2023–2032*. [https://aplicaciones.rekursyenergia.gob.ec/transparencia/informacion\\_publica/2024/ACUERDOS%20MINISTERIALES/Acuerdo%20Ministerial%20MEM-MEM-2024-0017-A%20-%20Aprobar%20el%20Plan%20Maestro%20de%20Electricidad%202023-2032.pdf](https://aplicaciones.rekursyenergia.gob.ec/transparencia/informacion_publica/2024/ACUERDOS%20MINISTERIALES/Acuerdo%20Ministerial%20MEM-MEM-2024-0017-A%20-%20Aprobar%20el%20Plan%20Maestro%20de%20Electricidad%202023-2032.pdf)

Ecuador. (2006, 22 de diciembre). *Ley Orgánica de Salud* (Ley N.º 67; Registro Oficial Suplemento 423; última modif. 18 de diciembre de 2015). Ministerio de Salud Pública. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf>

Green, L. M., Miller, A. B., Villeneuve, P. J., Agnew, D. A., Greenberg, M. L., Li, J., & Donnelly, K. E. (1999). A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences. *International Journal of Cancer*, 82(2), 161–170. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0215\(19990719\)82:2<161::AID-IJC2>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0215(19990719)82:2<161::AID-IJC2>3.0.CO;2-X)

IEEE Standards Association. (2014). *IEEE Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 kHz to 300 GHz (IEEE Std C95.7-2014)*. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6781522>

IEEE Standards Association. (2019). *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz (IEEE Std C95.1-2019)*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8640873>

IEEE Standards Association. (2021). *IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 300 GHz (IEEE Std C95.3-2021)*. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2021.9444273>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118(5), 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>

- ISO (Organización Internacional de Normalización). (2018). *ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo—Requisitos con orientación para su uso*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es>
- Judáková, Z., & Janoušek, L. (2019). Low frequency electromagnetic field in microenvironments and their possible health impacts. *IEEE Xplore*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CPEE47179.2019.8949158>
- Kivrak, E., Yurt, K., Kaplan, A., Alkan, I., & Altun, G. (2017). Effects of electromagnetic fields exposure on the antioxidant defense system. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(4), 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.jmau.2017.07.003>
- Kunt, H., Şentürk, I., Gönül, Y., Korkmaz, M., Ahsen, A., Hazman, Ö., Bal, A., Genç, A., & 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. <https://doi.org/10.2147/OTT.S94374>
- Loock, V. W. (2007). Human safety and health in electromagnetic fields. En *Proceedings* (pp. 315–318). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMCECO.2007.4371721>
- Meenu, L., Aiswarya, S., & Menon, S. K. (2020, 14 de octubre). A survey on heating effects of electromagnetic radiation on human body. En *2020 International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCS49678.2020.9277399>
- Mohammed, M. A., Salih, Z. H., Țăpuș, N., & Hasan, R. A. K. (2016). *Security and accountability for sharing the data stored in the cloud*. In 2016 15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RoEduNet.2016.7753201>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G.; The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

- Mostafa, A. M., Nicolae, T., Zeyad, H. S., & Raed Abdul, K. H. (2016). Security and accountability for sharing the data stored in the cloud. In *2016 15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet NER)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RoEduNet.2016.7753201>
- Organización Internacional del Trabajo. (2002). *Directrices relativas a los sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo (ILO-OSH 2001)*. [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms\\_112582.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112582.pdf)
- Organización Internacional del Trabajo. (2017). *Campaña mundial de ratificación de los C155 y C187*. <https://www.ilo.org/es/temas-y-sectores/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/campana-mundial-de-ratificacion-de-los-c155-y-c187>
- Pérez Alonso, M. A. (2018). A risk for the health of the workers: Electromagnetic fields, electrosensitivity. *Revista de Derecho de la Seguridad Social*, 9, 73–91. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5730089>
- Rathebe, P. C., Biddesay-Manilal, S., Modisane, D. S., Mbonane, T. P., & Rampedi, M. B. (2019). *A review on residential exposure to electromagnetic fields from overhead power lines: Electrification as a health burden in rural communities*. In 2019 Open Innovations Conference (OI) (pp. 219–221). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OI.2019.8908233>
- Ryan, H. M., & Williams, C. (1994). A review of the biological EMF/health effects controversy. *IEE Conference Publication*, 406, 1–9. <https://doi.org/10.1049/cp:19940667>
- Torres Carrión, P. V., González-González, C. S., Aciar, S., & Rodríguez Morales, G. (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education. In *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1364–1373). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363388>
- Wang, H., Wang, X., & Meng, H. (2015). Study on electromagnetic protective clothing structure for shielding effectiveness. In *2015 IEEE 12th International Conference*

*on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)* (pp. 369–373). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICEMI.2015.7494204>

Zeyad, H. S., Ghanim, Th. H., & Mostafa, A. M. (2017). Investigate and analyze the levels of electromagnetic radiations emitted from underground power cables extended in modern cities. En *2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)* (pp. 1–4). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ECAI.2017.8166452>