



NIVELES EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE LOS SISTEMAS WI-FI MEDIDOS EN EL MUNDO Y LATINOAMÉRICA. REVISIÓN

EXPOSURE LEVELS TO ELECTROMAGNETIC FIELDS OF WI-FI SYSTEMS MEASURED IN THE WORLD AND LATIN AMERICA. A REVIEW

Víctor Manuel Cruz Ornetta, Jorge Paul Ubillús Gonzales, Julio González Prado
Milton Marcelo Peña Calero
Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

RECIBIDO: 20 de septiembre de 2023.

ACEPTADO: 30 de noviembre de 2023.

RESUMEN

Existen **antecedentes** de diversos estudios de los campos electromagnéticos (CEM) Wi-Fi desde el ámbito de la salud y de la ingeniería, pero en Latinoamérica casi no hay investigaciones en este tema. Por eso el **objetivo** de este estudio es revisar los estudios a nivel mundial y en Latinoamérica sobre los niveles de exposición a CEM de los sistemas Wi-Fi. La **metodología** se basó principalmente en la revisión sistemática de la base de datos especializada EMF-PORTAL. Además, se incluyeron artículos de autores latinoamericanos, elegidos bajo el marco metodológico PECO (Población, Exposición, Comparador y Resultados). En base a estos criterios quedaron 37 artículos a ser revisados. Como **resultado** se obtuvieron dos tablas resumen en las que se observa que los niveles Wi-Fi en todos los casos fueron menores al 0.08 % de los límites de exposición poblacionales ICNIRP y que la contribución CEM de sistemas Wi-Fi respecto de la exposición total, en la mayoría de los casos, es muy pequeña (0.009 % a 20.9 %). Se **concluye** que son necesarias más mediciones para caracterizar mejor la exposición a los CEM en Latinoamérica y una revisión propia sobre los efectos en la salud para evitar la percepción equivocada de los sistemas Wi-Fi.

Palabras clave: RNI, CEM, Wi-Fi, WLAN, comunicación inalámbrica

Cómo citar

V. M. Cruz Ornetta, J. P. Ubillús Gonzales, J. González Prado, y M. Peña Calero, «Niveles Exposición a Campos Electromagnéticos de los Sistemas Wi-Fi medidos en el Mundo y Latinoamérica. Revisión», *Perfiles_Ingenieria*, vol. 19, n.º 20, pp. 119–146, dic. 2023.

ABSTRACT

There are antecedents of various studies of Wi-Fi electromagnetic fields (EMF) from the field of health and engineering, but in Latin America there is almost no research on this topic. Therefore, the objective of this study is to review studies worldwide and in Latin America on the levels of exposure to EMF of Wi-Fi systems. The methodology was based mainly on the systematic review of the specialized database EMF-PORTAL. In addition, articles by Latin American authors were included, chosen under the PECO (Population, Exposure, Comparator and Results) methodological framework. Based on these criteria, 37 articles remained to be reviewed. As a result, two summary tables were obtained in which it is observed that the Wi-Fi levels in all cases were less than 0.08% of the ICNIRP population exposure limits and that the EMF contribution of Wi-Fi systems with respect to the total exposure, in most cases, it is very small (0.009% to 20.9%). It is concluded that more measurements are necessary to better characterize exposure to EMF in Latin America and a review of the health effects to avoid the wrong perception of Wi-Fi systems.

Keywords: NIR, EMF, Wi-Fi, WLAN, wireless communication

© Los autores. Este artículo Open Access esta publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



I. Introducción

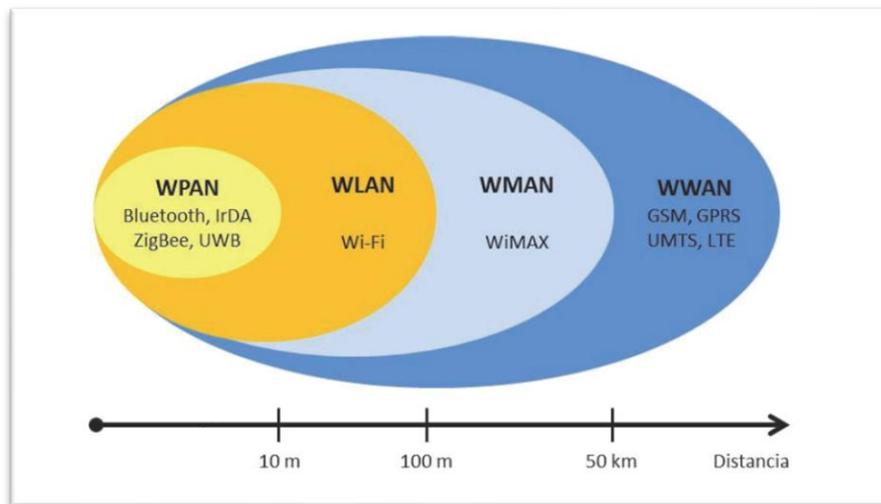
En el Perú y en el mundo el crecimiento del acceso a Internet sigue un ritmo imparable, especialmente impulsado por los sistemas de comunicaciones móviles y el acceso inalámbrico vía los sistemas *Wi-Fi*. De acuerdo con el Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones, en el Perú, el 2014-I se tenían 10.99 millones de líneas de telefonía móvil con acceso a Internet móvil y, al 2023-II, se tienen 30.45 millones de estas líneas. Mientras el porcentaje de acceso Internet fijo en hogares es 39.4 %, el acceso al Internet móvil es 48.7 % [1], lo que totaliza casi 89 % de hogares con acceso a este servicio. En los hogares y en los ambientes corporativos, así como también en redes públicas de acceso libre y de pago, se utilizan los sistemas *Wi-Fi* para conectarse Internet sea fijo o móvil.

Wi-Fi es una tecnología inalámbrica que se utiliza para conectar computadoras, tabletas, teléfonos inteligentes televisores y otros dispositivos a Internet. Consecuentemente, una red *Wi-Fi* es una red radioeléctrica de área local de banda ancha (RLAN) que permite acceder a los dispositivos ya mencionados a Internet a través de un enrutador que actúa como un centro para transmitir la señal a todos sus dispositivos habilitados para *Wi-Fi*, conectado directamente a un módem. Esto le brinda flexibilidad para permanecer conectado a Internet siempre que se encuentre dentro del área de cobertura de su red.

Las Redes de Área Personal (PAN) cubren unos pocos metros, son para uso personal y cuando se desarrollan con redes inalámbricas, se denomina Wireless Personal Area Network (WPAN). Las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN) son redes de computadoras que permiten la comunicación y el intercambio de datos entre diferentes dispositivos a distancias cortas (típico en el orden de 100 m), por lo cual se utilizan para los hogares y redes corporativas y son implementadas básicamente utilizando tecnología *Wi-Fi*. Una red de área metropolitana (WMAN) es una red informática que conecta los ordenadores de un área metropolitana, que puede ser una gran ciudad, varias ciudades y pueblos, o cualquier zona grande con varios edificios y puede cubrir distancias del orden de 50 km. Las Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN) son redes de computadoras que pueden interconectar varias redes WLAN o WMAN que podrían estar en todos en diferentes ubicaciones físicas y pueden ser redes corporativas para uso privado o pertenecer a proveedores de Internet (ISP) para proveer conexión a sus clientes (servicio público).

La Figura N° 1 muestra la ubicación de la red *Wi-Fi* dentro de las tecnologías inalámbricas, mientras que la Figura N° 2 muestra el esquema de una red Wi-Fi en el hogar.

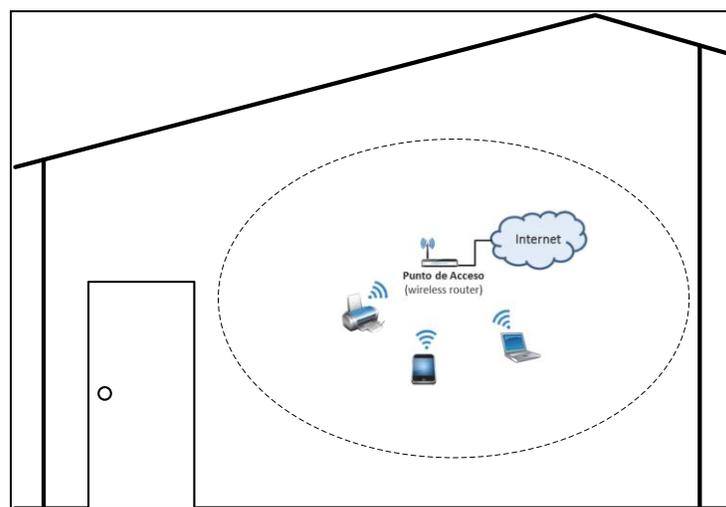
Figura N° 1. Clasificación de las redes inalámbricas por su alcance



Fuente: Techpedia [2]

En la Figura N° 2, se muestra el esquema básico de una red *Wi-Fi* pudiéndose observar el *router*, los puntos de acceso y los terminales que conectan a la red.

Figura N° 2. Esquema de red Wi-Fi en el hogar



Fuente: Internetizado [3]

La Recomendación UIT-R M.1450-5 [4] de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) acoge recomendaciones del Instituto Internacional de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI) y la Asociación de Industrias y Negocios de Radio (ARIB) para estandarizar los sistemas Wi-Fi con el objetivo de permitir la compatibilidad transversal entre los diversos fabricantes y su compatibilidad con las redes de área local cableadas (LAN). Así es como los sistemas Wi-Fi actuales trabajan principalmente en las bandas no licenciadas de 2.4 y 5 GHz.

Debido a ello los sistemas Wi-Fi y sus señales están presentes en casi todos los ambientes de donde se desarrolla la vida de los seres humanos, en el hogar, el trabajo, los centros de estudio, los hospitales, los buses, los trenes, los barcos, los aviones y muchos más; sin embargo, junto con ese gran desarrollo y la tremenda utilidad asociada a dichos sistemas se ha gestado una importante preocupación sobre los posibles efectos producidos por las ondas electromagnéticas de los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricas incluyendo los sistemas Wi-Fi [5].

El 2013 la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) publicó el volumen 102 de las Monografías sobre la Evaluación de Riesgos Carcinogénicos para Seres Humanos. En el capítulo 6, acápite 6.3, titulado Evaluación Global, se clasifica a los Campos de Radiofrecuencia como pertenecientes al Grupo 2B “Posibles Carcinogénicos para los Seres Humanos” [6], lo cual incrementa la preocupación del público y las instituciones sobre los posibles efectos en la salud de las tecnologías inalámbricas en general y de los sistemas Wi-Fi en particular.

Esta preocupación recurrente por los posibles efectos de las redes Wi-Fi ha llevado a la realización de muchos estudios específicos en cuanto a los posibles efectos sobre la salud de las personas y los niveles de exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia producidos por las redes Wi-Fi. Asimismo, de acuerdo con el modelo estándar de evaluación de riesgos para la salud, adoptado por la Organización Mundial de la Salud [7] incluye cuatro componentes principales: identificación de peligros, caracterización de peligros, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo. Es decir que evaluar los riesgos para la salud provenientes de las redes Wi-Fi implica un componente importante que es evaluar la exposición. A nivel mundial existen varias revisiones realizadas en relación con los niveles de exposición a los campos electromagnéticos de los sistemas de telecomunicaciones principales como son los sistemas de

radiodifusión sonora y por televisión, las comunicaciones móviles, los teléfonos inalámbricos (DECT), los dispositivos RFID, los sistemas Wi-Fi y otros [8, 9, 10, 11, 12]. Sin embargo, no existe uno específico a las radiaciones Wi-Fi. Es por eso que el objetivo de este estudio es hacer una revisión de los estudios que se han realizado en el ámbito mundial y especialmente en Latinoamérica sobre los niveles de exposición a campos electromagnéticos de los sistemas Wi-Fi. Con este estudio pretendemos contestar preguntas como: tipos de medidores utilizados, el cumplimiento de los límites de exposición, tipos de exposición evaluados, tipos de ambientes evaluados, distribución mundial de las mediciones realizadas, contribución de los sistemas Wi-Fi a la exposición total.

Tipos de Mediciones

Básicamente, existen dos tipos de métodos para medir campos electromagnéticos de RF. En primer lugar, se desarrollaron las mediciones en ubicaciones fijas. Las mediciones en ubicaciones fijas pueden ser mediciones puntuales y monitoreos, las que a su vez pueden ser mediciones en banda ancha y mediciones selectivas en frecuencias. Luego se iniciaron mediciones mediante métodos dinámicos utilizando equipos para evaluaciones de campo de RF en ubicaciones fijas pero montados en un automóvil para realizar mediciones a lo largo de una ruta. Este último evolucionó a mediciones con exposímetros portátiles (PEM) realizados a lo largo de una ruta, que podían realizarse a pie o en un móvil. Las mediciones con exposímetros portátiles a su vez pueden ser mediciones microambientales y mediciones personales. Generalmente las mediciones de exposición personal involucran el reclutamiento de voluntarios mientras que las mediciones microambientales involucran personal entrenado.

Uno de los métodos más utilizados es la medición puntual que se lleva a cabo realizando mediciones en lugares seleccionados y períodos de tiempo específicos con dispositivos ubicados en lugares fijos. Por un lado, este método permite el estricto cumplimiento de los protocolos y el uso de muy buenos medidores (medidores de banda ancha o analizadores selectivos en frecuencia), lo que facilita una medición precisa de la contribución específica de las diferentes fuentes a la exposición ambiental total de RF-EMF. No obstante, por otro lado, tiene una resolución espacial limitada, no considera las características específicas de la exposición personal y tienen un costo

relativamente elevado. Para superar esta dificultad se diseaaron los exposímetros personales que se caracterizan por su tamao reducido, nmero/tipo de bandas de frecuencia, intervalos de medici3n, capacidad de la memoria interna, lmites de detecci3n inferior y superior y GPS incorporado que son muy ́tiles en la implementaci3n de mediciones de puntuales o microambientales donde es necesario geolocalizar las mediciones y almacenar grandes cantidades de informaci3n [13].

1.2 Lmites de Exposici3n

Las restricciones b́asicas y los niveles de referencia de las recomendaciones internacionales de la Comisi3n Internacional de Protecci3n contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) establecidas desde el aao 1998 [14] y revisadas en 2020 [15] son las ḿs aceptadas a nivel mundial, por lo que las mediciones realizadas en muchos casos son comparadas con los niveles de referencia de estas recomendaciones. Los niveles de referencia ICNIRP para la exposici3n del p ́blico en general a campos electromagnéticos de los sistemas Wi-Fi es 10 W/m² y para la exposici3n ocupacional es 50 W/m².

II. Metodoloǵa

Este art́culo se basa en la revisi3n sistemática de la base de datos especializada en campos electromagnético EMF-PORTAL. La plataforma de informaci3n en Internet EMF-Portal de la Universidad RWTH de Aquisgrán resume sistemáticamente datos de investigaciones científcas sobre los efectos de los campos electromagnéticos (CEM). Toda la informaci3n est́ disponible tanto en ingl3s como en alemán. El n ́cleo del EMF-Portal es una extensa base de datos bibliográfica con un inventario de 39.908 publicaciones y 7.012 resúmenes de estudios científcos individuales sobre los efectos de los campos electromagnéticos [16].

Como guía para la elecci3n de los estudios que fueron parte de la revisi3n sistemática se utiliz3 el marco metodol3gico PECO que incluye la definici3n de la Poblaci3n (incluidas las especies animales), la Exposici3n, el Comparador y los Resultados (PECO). De esta manera, el PECO define los objetivos de la revisi3n o directriz. Adeḿs, el PECO informa el diseo del estudio o los criterios de inclusi3n y exclusi3n para una revisi3n, adeḿs de facilitar la interpretaci3n de la

franqueza de los hallazgos en función de qué tan bien los hallazgos reales de la investigación representan la pregunta original.

2.1 Criterios de la Metodología PECO

Los criterios de elegibilidad son Título + Resumen + Resultados relevantes; Investigación original + Revisor de pares + Mediciones de exposición personal a RF-EMF, incluida la evaluación de Wi-Fi + Informe de resultados. Población: estudios realizados con la participación de personas del público en general, incluidos adultos, adolescentes y niños de cualquier condición de salud, denominados voluntarios, y diferentes microambientes (interior y exterior).

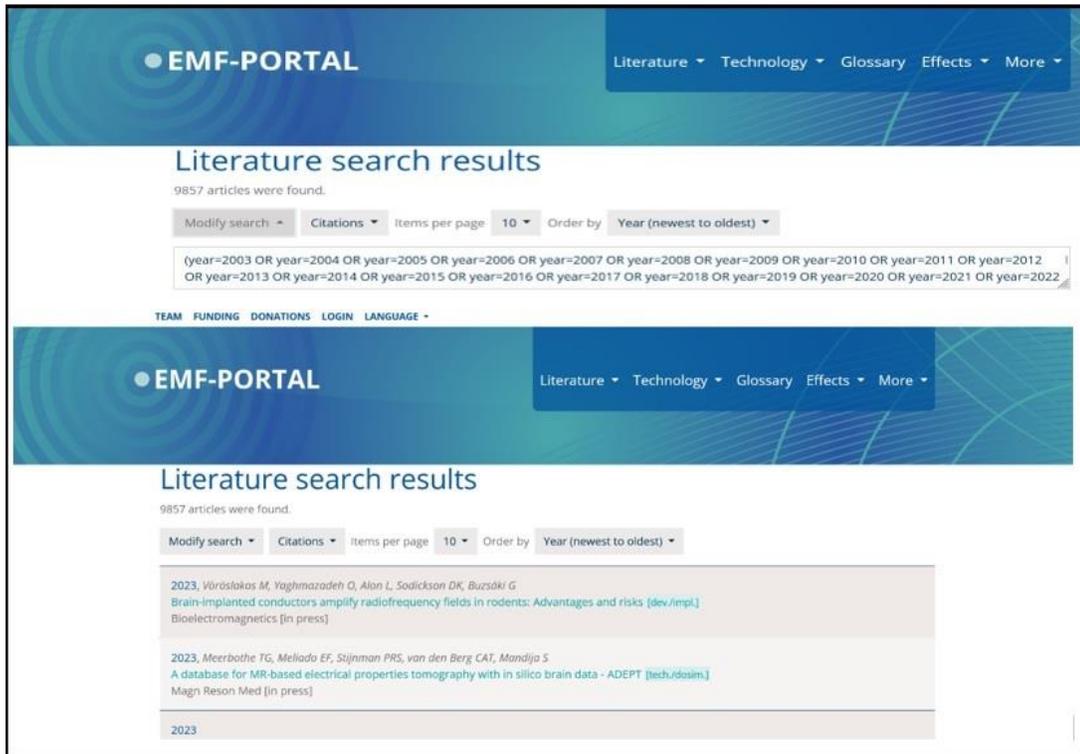
Exposición: todo tipo de estudios de medición de exposición a RF-EMF en el rango de frecuencia de 9 kHz a 300 GHz, que incluyeron evaluación del nivel de Wi-Fi.

Comparador: estudios de medición de exposición personal a RF-EMF que incluyen evaluación de Wi-Fi con voluntarios y con un investigador capacitado.

Resultado: estudios que presenten resultados estadísticos de los niveles de exposición a RF-EMF-Wi-Fi medidos.

Tomando en cuenta estos criterios, se inició la búsqueda en la base de datos EMF Portal la cual arrojó un total de 9857 artículos al aplicar algunos filtros como Artículos de los últimos 20 años; Artículos con estudios en un rango de frecuencia mayor a los 10MHz (radiofrecuencia); Artículos que tenga como tema los estudios experimentales, estudios epidemiológicos, estudios técnicos o de dosimetría, revisiones y otros.

Figura N° 3. Selección y filtrado de los artículos de la base de datos EMF-Portal.



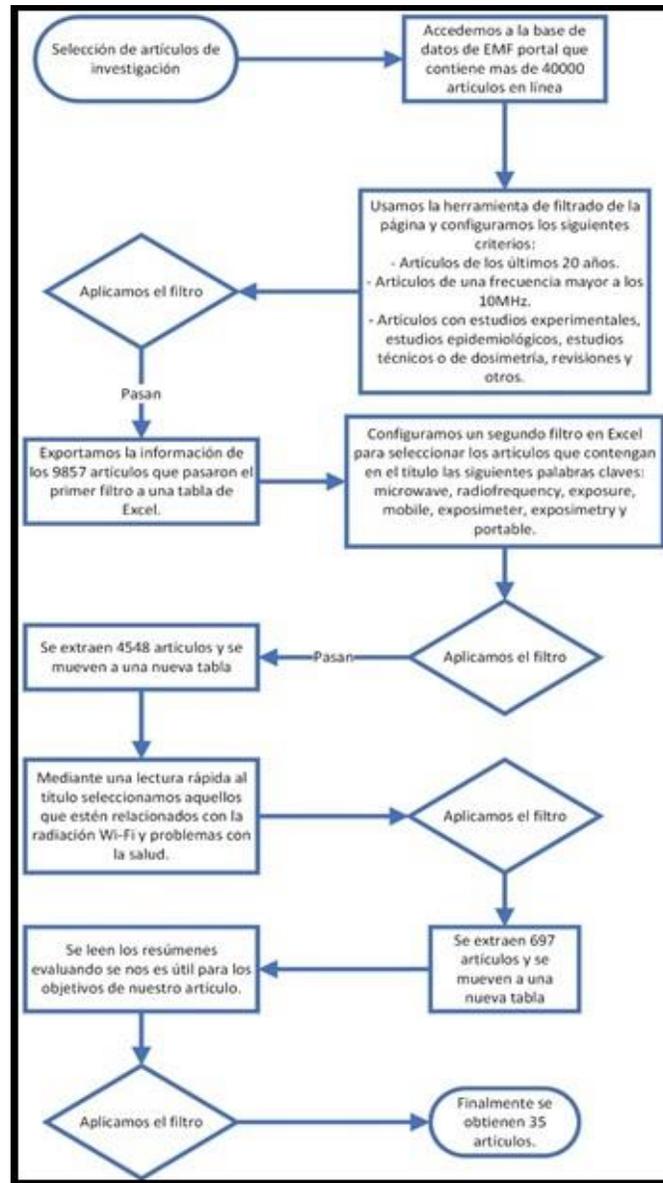
Elaboración propia

Los resultados fueron exportados a una tabla de Excel donde filtramos los estudios que contengan solo las siguientes palabras claves: *microwave*, *radiofrequency*, *exposure*, *mobile*, *exposimeter*, *exposimetry* y *portable*. La lista de artículos se redujo a 4548 artículos:

Figura N° 4. Resultado final de la selección y filtrado de artículos

534	Wireless Power transmission. An assessment of technology potential and risk
535	Wireless Powering Efficiency of Deep-Body Implantable Devices
536	Wireless resonant energy link for pulse generators implanted in the chest
537	Wireless technologies and patient safety in hospitals
538	Wireless technologies, non-ionizing electromagnetic fields and children: Identifying and reducing health risks
539	Wireless technology and health outcomes: Evidence and review. Are there human health effects related to the use of wireless internet technology (Wi-Fi)?
540	Wireless technology in the ICU: boon or ban?
541	Wireless technology is an environmental stressor requiring new understanding and approaches in health care
542	Wireless Wearables and Implants: A Dosimetry Review
543	Wireless, Battery-Free, and Fully Implantable Micro-Coil System for 7 T Brain MRI
544	Wirelessly Heating Stents via Radiofrequency Resonance toward Enabling Endovascular Hyperthermia
545	Workers exposure to cell phone radiations
546	Workgroup report: base stations and wireless networks-radiofrequency (RF) exposures and health consequences
547	World Health Organization, radiofrequency radiation and health - a hard nut to crack (Review)
548	Worst case temperature rise in a one-dimensional tissue model exposed to radiofrequency radiation
549	XMobiSensePlus: An updated application for the assessment of human exposure to RF-EMFs
550	Yes the Children are more exposed to radio-frequency energy from mobile telephones than adults
551	Zebrafish Larval Melanophores Respond to Electromagnetic Fields Exposure
cc	

Figura 5: Diagrama de flujo del filtrado de artículos



Elaboración propia

III. Resultados

Luego de la revisión de los resúmenes y los resultados los cuales siempre debían contener mediciones *Wi-Fi*. Después de este filtraje, se obtuvieron 35 artículos a revisar, los cuales se resumen en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Artículos seleccionados para la revisión

ID	Autores	País/Ciudad	Promedio		Mediana		Otra estadística			Tipo de medición	Tipo de ambiente y otras características	Observaciones
			$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICPNIR poblacional			
1	Aminzadeh et al., (2016) [17]	Bélgica	165.8	ND	ND	ND	8900 (máximo)	ND	ND	Exposición en interiores Wi-Fi 5G	Exposición en oficina	PEM calibrado en RC para corrección por factor corporal
			24.45	ND	ND	ND	1300 (máximo)	ND	ND			PEM sin corrección por factor corporal
2	Bhatt et al., (2017) [18]	Melbourne, Australia y Ghent, Bélgica	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 2 G	Exteriores residenciales, interiores residenciales, oficina interior, parque, centro de la ciudad, biblioteca, centro comercial, estación de tren, tren, estación de tranvía, tranvía, estación subterráneo, aeropuerto	PEM calibrado en AC para corrección por factor corporal
			ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 5 G		
3	Bhatt et al., (2022) [13]	Melbourne, Australia	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 2 G	Jardín de infancia	PEM calibrado
			ND	ND	ND	0.016	ND	ND	ND	Exposición ambiental Wi-Fi 2G		
4	Birks L.E. et al., (2018) [19]	Dinamarca, Eslovenia, España, Países Bajos, Suiza	ND	ND	1.8	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	Casa, escuela, exteriores, bus, carro, tren y metro. Día y noche. Día de semana, fin de semana.	PEM calibrado

Niveles exposición a campos electromagnéticos de los sistemas wi-fi medidos en el mundo y Latinoamérica. Revisión

ID	Autores	País/Ciudad	Promedio		Mediana		Otra estadística			Tipo de medición	Tipo de ambiente y otras características	Observaciones
			$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICPNIR poblacional			
5	Bolte and Eikelboom, (2012) [20]	Países Bajos	ND	ND	ND	ND	43 (máximo)	ND	ND	Exposición personal	Actividades en casa, diferentes tipos de centros comerciales, otros interiores, diferentes tipos de trabajos, diferentes actividades en exteriores, diferentes tipos de transporte	PEM calibrado
6	Choi et al., (2018) [21]	Corea	17.3	ND	ND	ND	91.45 (máximo)	ND	ND	Exposición personal	Actividades en casa, actividades en la escuela, diferentes tipos de centros comerciales, otros interiores, diferentes actividades en trabajo, diferentes actividades en exteriores, diferentes tipos de transporte	PEM calibrado para corrección por factor corporal
7	Cruz et al., (2015) [22]	Lima, Perú	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01245 (máximo)	Medición puntual	En la universidad	Medidor de banda ancha
8	De Giudici et al., (2021) [23]	Francia	ND	0.11	ND	0.06	ND	1.01 (máximo)	ND	Medición puntual	En relación a la casa: diferentes ciudades, tipos y pisos de ubicación del alojamiento, tipos de vidrio de las ventanas, distancia y visibilidad desde la antena	Medidor de banda ancha
9	Eeftens et al., (2019) [24]	Basilea, Suiza	ND	ND	ND	ND	0.0011 (media geométrica)	ND	ND	Exposición microambiental	Residencial, centro de la ciudad, parque. Centro comercial, bus, tranvía	PEM calibrado en AC para corrección por factor corporal

ID	Autores	País/Ciudad	Promedio		Mediana		Otra estadística			Tipo de medición	Tipo de ambiente y otras características	Observaciones
			$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICPNIR poblacional			
10	Fernández et al., (2019) [25]	Bilbao, España	ND	0.00525	ND	ND	ND	ND	ND	Medición puntual	En la universidad en diferentes lugares y diferentes horas del día	Analizador de espectros
			ND	0.00709	ND	ND	ND	ND	ND			PEM calibrado
11	Frei et al., (2009) [26]	Basilea, Suiza	5.33	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	Casa, en el trabajo. Día y noche. Día de semana, fin de semana.	PEM calibrado
12	Hardell et al., (2017) [27]	Suecia	0.4	ND	ND	ND	288.9 (máximo)	ND	ND	Medición puntual	Plazas principales, parlamento, corte suprema	PEM calibrado
13	Hedendall et al., (2017) [28]	Orebro y Norrbotten, Suecia	22.5	ND	4.6	ND	82857.3 (máximo)	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 2 G	Escuelas	PEM calibrado
			ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 5 G		
14	Huss A. et al., (2021) [29]	Bélgica, España, Francia, Países Bajos y Suiza	2.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	Diferentes tipos de microambientes	PEM calibrado
15	Joseph et al. (2010) [30]	Bélgica, Eslovenia, Hungría, Países Bajos y Suiza	18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición microambiental	En áreas urbanas, en casa, oficina, medios de transporte, en exteriores	PEM calibrado
16	Karipidis et al. (2017) [31]	Australia	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Medición puntual	Escuelas	Analizador de espectros
17	Loaiza, (2020) [32]	Arequipa, Perú	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.08 (promedio) 0.42 (máximo)	Medición puntual	Universidad	Medidor de banda ancha y analizador de espectros
18	Markakis et al., (2013) [33]	Tesalónica, Grecia	ND	0.19	ND	0.12	ND	2.1 (máximo)	ND	Medición puntual	En casa, en escuelas y oficinas	Medidor de banda ancha

Niveles exposición a campos electromagnéticos de los sistemas wi-fi medidos en el mundo y Latinoamérica. Revisión

ID	Autores	País/Ciudad	Promedio		Mediana		Otra estadística			Tipo de medición	Tipo de ambiente y otras características	Observaciones
			$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICPNIR poblacional			
												analizador de espectros y PEM
19	Massardier-Pilonchery et al., (2019) [34]	Lyon, Francia	ND	ND	ND	0.04	ND	ND	ND	Exposición personal	Bibliotecas y bibliotecas multimedia	PEM calibrado
			ND	ND	ND	0.005	ND	ND	ND	Exposición poblacional		Analizador de espectros
20	Nájera et al., (2020) [35]	Albacete, España	126.638	ND	646.79	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	En área urbana	PEM calibrado
21	Peyman et al., (2011) [36]	Reino Unido	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición Wi-Fi 2 G	Escuelas	Analizador vectorial de señales
			ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición Wi-Fi 5 G		
22	Ramírez-Vásquez et al. (2019) [37]	Albacete, España	80.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición microambiental	En casa, actividades en escuela, universidad, centros comerciales, hospital, trabajo, exteriores, transporte, centros deportivos y otros	PEM calibrado
			4.71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal		
23	Ramírez-Vásquez et al. (2020) [38]	Aman, Jordania	34.48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Medición puntual	Universidad	PEM calibrado
			28.82	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal		
24	Ramírez-Vásquez et al. (2020) [39]	Albacete, España	33.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal en interiores	En escuelas interior y exterior	PEM calibrado
			121	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal en exteriores		
25	Ramírez-Vásquez et al. (2021) [40]	San Luis de Potosí, México	303.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi2 GHz	En casa, en trabajo, en escuela, medios de	PEM calibrado

ID	Autores	País/Ciudad	Promedio		Mediana		Otra estadística			Tipo de medición	Tipo de ambiente y otras características	Observaciones
			$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICPNIR poblacional			
			168.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 5 GHz	transporte, exteriores y centros comerciales	
			499.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición microambiental Wi-Fi 2.4 GHz		
			264.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición microambiental Wi-Fi 5 GHz		
26	Ramírez-Vásquez et al. (2023) [12]	Albacete, España	6.36	ND	ND	ND	29.2 (máximo)	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 2 GHz	Universidad	PEM calibrado
			30.5	ND	ND	ND	211 (máximo)	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 5 GHz		
27	Roser et al., (2015) [41]	Suiza	2.18	ND	ND	ND	23.88 (máximo)	ND	ND	Exposición personal Wi-Fi 2 GHz	En adolescentes	PEM calibrado
28	Sagar et al., (2016) [10]	Suiza	0.027	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición micromambiental Wi-Fi 2 GHz	Centro urbano, centro rural, área residencial central, área residencial no central, área industrial	PEM calibrado
			0.034		ND	ND	ND	ND	ND	Exposición micromambiental Wi-Fi 5 GHz		
29	Sagar et al., (2018) [11]	Australia, EE.UU. Etiopía, Nepal, Sud-África, Suiza	ND	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición micromambiental Wi-Fi 2 GHz	Centro urbano, centro rural, área residencial central, área residencial no central, área industrial, área turística, universidades	PEM calibrado
30	Suarez et al., (2023) [42]	Medellín, Colombia	ND	0.25	ND	0.16	ND	1.28 (máximo)	ND	Medición puntual		Analizador de espectros

Niveles exposición a campos electromagnéticos de los sistemas wi-fi medidos en el mundo y Latinoamérica. Revisión

ID	Autores	País/Ciudad	Promedio		Mediana		Otra estadística			Tipo de medición	Tipo de ambiente y otras características	Observaciones
			$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICPNIR poblacional			
31	Tomitsch et al., (2010) [43]	Austria	0.11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Medición puntual	Área urbana, área rural, ciudades pequeñas y medianas	Analizador de espectros
32	Tomitsch et al., (2015) [44]	Austria	37.21	ND	0.5	ND	0.03 (media geométrica)	ND	ND	Medición puntual	Área urbana, área suburbana, área rural, ciudades pequeñas	Analizador de espectros
33	Valic et al., (2014) [45]	Eslovenia	ND	0.13	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	Área urbana	PEM calibrado
34	Vera (2016) [46]	Bolivia	169	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	Área urbana, incluyendo universidad	PEM calibrado
35	Verloock et al., (2014) [47]	Bélgica	ND	ND	ND	ND	ND	1.7 (máximo)	ND	Exposición micromambiental Wi-Fi 2 GHz	En casas y escuelas	PEM calibrado
36	Vermeeren et al. (2013) [48]	Bélgica, Grecia	ND	0.14	ND	ND	ND	0.77 (máximo)	ND	Exposición micromambiental Wi-Fi 2 GHz	En cunas, jardines de infancia, escuelas, oficinas y casas. Área urbana, área urbana densa, área suburbana, área rural	PEM calibrado
37	Zelege et al., (2018) [49]	Melbourne, Australia	37.1	ND	23	ND	ND	ND	ND	Exposición personal	Urbana	PEM calibrado

A partir de la Tabla N° 1, en todos los artículos se calcula el cociente de exposición respecto de los niveles de referencia ICNIRP poblacionales. Asimismo, en los artículos en los cuales se han realizado mediciones de los servicios de telecomunicaciones principales se obtienen los porcentajes de contribución a la exposición global. La Tabla N° 2 nos permite visualizar características adicionales de las mediciones.

Tabla N° 2. Cumplimiento de los límites ICNIRP poblacionales y exposición atribuida a los sistemas *Wi-Fi*

ID	País/Ciudad	Promedio			Mediana			Máximo			% de la exposición total
		$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	
1	Bélgica	165.8	ND	1.66E-05	ND	ND	ND	8900	ND	8.90E-04	ND
		24.45	ND	2.45E-06	ND	ND	ND	1300	ND	1.30E-04	ND
2	Melbourne, Australia y Ghent, Bélgica	ND	0.02	8.00E-07	ND	0.01	2.00E-07	ND	ND	ND	1
		ND	0.02	8.00E-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1
3	Melbourne, Australia	ND	ND	ND	ND	0.01	2.00E-07	ND	ND	ND	5.2
		ND	ND	ND	ND	0.016	5.12E-07	ND	ND	ND	0.8
4	Dinamarca, Eslovenia, España, Países Bajos, Suiza	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.4
5	Países Bajos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	43	ND	ND	8.4 en casa
6	Corea	17.3	ND	1.73E-06	ND	ND	ND	91.45	ND	9.15E-06	0.98
7	Lima, Perú	ND	ND		ND	ND	ND	ND	ND	1.20E-02	ND
8	Francia	ND	0.11	2.42E-05	ND	0.06	7.20E-06	ND	1.01	2.04E-03	3.6
9	Basilea, Suiza	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.33 (MG)
10	Bilbao, España	ND	0.00525	5.51E-08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		ND	0.00709	1.01E-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
11	Basilea, Suiza	5.33	ND	5.33E-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.1
12	Suecia	0.4	ND	4.00E-08	ND	ND	ND	288.9		2.89E-05	0.009
13	Suecia	2.8	ND	2.80E-07	0.3	ND	ND	4,482.8		4.48E-04	12.4
		3.1	ND	3.10E-07	0.5	ND	ND	3,321.4		3.32E-04	13.8

ELECTRÓNICA

Niveles exposición a campos electromagnéticos de los sistemas wi-fi medidos en el mundo y Latinoamérica. Revisión

ID	País/Ciudad	Promedio			Mediana			Máximo			% de la exposición total
		$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	
14	Bélgica, España, Francia, P. Bajos y Suiza	2.2	ND	2.20E-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.69
15	Bélgica, Eslovenia, Hungría, P. Bajos y Suiza	18	ND	1.80E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.14
16	Australia	ND	ND	ND	41	ND	4.10E-06	ND	ND	ND	37.5 en el centro de un salón
17	Arequipa, Perú	ND	ND	0.08	ND	ND	ND	ND	ND	4.20E-01	ND
18	Tesalónica, Grecia	ND	0.19	7.22E-05	ND	0.12	ND	ND	2.1	8.82E-03	13
19	Lyon, Francia	ND	0.011	2.42E-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.34
		ND	0.01	2.00E-07	ND	0.04	ND	ND	ND	ND	0.28
		ND	ND		ND	0.005	ND	ND	ND	ND	ND
20	Albacete, España	126.638	ND	1.27E-05	ND	8.92	ND	ND	ND	ND	6.42
21	Reino Unido	18000	ND	1.80E-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		6000	ND	6.00E-04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22	Albacete, España	80.2	ND	8.02E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20.5
		63.9	ND	6.39E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12.5
23	Aman, Jordania	34.48	ND	3.45E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		28.82	ND	2.88E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.8
24	Albacete, España	33.1	ND	3.31E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		121	ND	1.21E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25	San Luis de Potosí, México	303.1	ND	3.03E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		168.3	ND	1.68E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		499.7	ND	5.00E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ID	País/Ciudad	Promedio			Mediana			Máximo			% de la exposición total
		$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m	% ICNIRP	
		264.9	ND	3.03E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
26	Albacete, España	6.36	ND	6.36E-07	ND	ND	ND	29.2	ND	2.92E-06	ND
		30.5	ND	3.05E-06	ND	ND	ND	211	ND	2.11E-05	ND
27	Suiza	2.18	ND	2.18E-07	ND	ND	ND	23.88	ND	2.39E-06	3.5
28	Suiza	ND	0.027	2.70E-09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.34
		ND	0.034	3.40E-09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.54
29	Australia, EE.UU. Etiopía, Nepal, Sud-África, Suiza	ND	0.05	5.00E-06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	Medellín, Colombia		0.25	1.25E-04		0.16	ND	ND	1.28		2.35
31	Austria	0.11	ND	1.10E-08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03
32	Austria	37.21	ND	3.72E-06	0.5						6.8
33	Eslovenia	ND	0.08	1.28E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
34	Santa Cruz de la Sierra, Bolivia	189	ND	1.89E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
35	Bélgica	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.7	5.78E-03	20.9
36	Bélgica, Grecia	ND	0.15	4.50E-05	ND	ND	ND	ND	0.77	1.19E-03	1.7
37	Melbourne, Australia	0.0371	ND	3.71E-09	ND	0.023	ND	ND	ND	ND	15.9

Elaboración propia

IV. Discusión

Del análisis realizado en las tablas 1 y 2 de los 37 artículos se puede observar que la mayor cantidad de las mediciones realizadas utilizan exposímetros personales, los cuales deben ser convenientemente calibrados para dar una medición confiable. Sin embargo, unos pocos utilizan medidores de banda ancha lo cual no permite identificar las radiaciones emitidas por cada uno de

los servicios [9, 10]. Otros, en cambio, utilizan analizadores de espectros [12, 18] que sí permiten identificar no solo la banda de frecuencias de los servicios sino los aportes por cada transmisor de ser necesario pero el costo de estos equipos es bastante mayor. Finalmente, otros utilizaron una combinación de medidores de banda ancha y analizador de espectros, lo que permitió comprobar rápidamente el cumplimiento de los límites de exposición a nivel ambiental y también la comprobación del cumplimiento de los límites de exposición por servicios o por transmisores de telecomunicaciones [19, 20].

Como se puede observar en todas las mediciones, los resultados de la exposición están muy por debajo de los niveles de referencia para exposición poblacional ICNIRP siendo menor a 0.08 % de los límites de exposición.

La contribución de los campos electromagnéticos de sistemas *Wi-Fi* respecto de la exposición total, en la mayoría de los casos, es muy pequeña, pues va desde 0.009 % a 20.9 % de la exposición global.

La mayoría de las mediciones son del tipo de exposición personales, que totalizan 21 casos seguidas de las mediciones microambientales [11, 17, 24, 27, 37, 38] y, finalmente, las mediciones puntuales [25, 32, 33, 34].

Las mediciones microambientales permiten caracterizar la exposición en casa, en exteriores residenciales, interiores residenciales, oficina interior, parque, centro de la ciudad, biblioteca, cuna, jardín de infancia, escuela, universidad, plazas principales, parlamento, corte suprema, centro comercial, estación de tren, tren, estación de tranvía, tranvía, estación subterránea, aeropuerto y otros. Asimismo, permite caracterizar la exposición para diferentes actividades en casa, diferentes tipos de centros comerciales, otros interiores, diferentes tipos de trabajos, diferentes actividades en exteriores, diferentes tipos de transporte. Día y noche, día de semana, fin de semana. En relación con la casa: diferentes ciudades, tipos y pisos de ubicación del alojamiento, tipos de vidrio de las ventanas, distancia y visibilidad desde la antena.

En Latinoamérica, hay relativamente pocas mediciones documentadas de los campos electromagnéticos de redes *Wi-Fi* [40, 22, 32, 46].

Existen bastantes revisiones sobre los niveles de campos electromagnéticos de radiofrecuencia

Perfiles de Ingeniería Vol20 N°20, julio – diciembre 2023

en general pero no específicamente sobre *Wi-Fi*. En este estudio no se han tomado en cuenta revisiones sobre campos de radiofrecuencia, pero hemos tomado como referentes tres de los últimos estudios, que son los de Sagar (2017) [51], Chiaramello (2019) [8] y Ramírez-Vásquez (2022) [50].

En el caso de Sagar (2017) [51], se trata de una revisión sobre campos de radiofrecuencia en general enfocado solo en Europa de los cuales la mayoría fueron mediciones puntuales. En cambio, en nuestro caso, la mayoría fueron mediciones personales. Asimismo, los niveles *Wi-Fi* aportan muy poco a la exposición global y, en todos los casos, incluyen los valores máximos médicos cumplen con los niveles de referencia ICNIRP.

Chiaramello (2019) [8] es una revisión sobre niveles de exposición a radiofrecuencia en ambientes interiores. Al igual que en nuestro estudio todos los niveles medidos están por debajo de los límites de referencia ICNIRP para el público en general y la contribución de los sistemas *Wi-Fi* es la más baja entre las fuentes interiores, menor a la exposición por sistemas DECT (teléfonos inalámbricos).

Ramírez-Vásquez (2022) [50] es una revisión sobre exposición personal a radiofrecuencia. Como en nuestro estudio, los niveles medidos no superan los límites de referencia ICNIRP, pero no señalan los niveles de contribución a la exposición global. Nuestro estudio es específico sobre exposición de sistemas *Wi-Fi* y abarca exposición personal, exposición microambiental y exposición puntual.

V. Conclusiones y Recomendaciones

Las mediciones realizadas sobre exposición *Wi-Fi* cubren muchas situaciones de la vida real y en diferentes países de todo el mundo. En el caso de *Wi-Fi*, su contribución a las exposiciones totales siempre es pequeña a excepción de algunos casos en ambientes exteriores. Los valores medidos son muchos menores de los límites de exposición recomendados por lo que la población puede tener tranquilidad en cuanto a la existencia de posibles efectos sobre la salud.

Es necesario realizar un mayor número de mediciones de las radiaciones no ionizantes de las señales de *Wi-Fi* en Latinoamérica y en el Perú. Estas deben caracterizar de una forma más aproximada la exposición a estos sistemas de la población latinoamericana y peruana, y evitar de

esta manera una percepción equivocada de estas radiaciones. Es necesario hacer una revisión propia de los posibles efectos sobre la salud vinculados a las redes *Wi-Fi*.

VI. VI. Referencias

- [1] OSIPTEL, «Reportes. Reportes por servicios. Servicio de Internet,» 2023. [En línea]. Available: <https://punku.osiptel.gob.pe/> [Último acceso: 31 10 2023].
- [2] Techpedia, «Redes Inalámbricas,» [En línea]. Available: <https://techpedia.fel.cvut.cz/html/frame.php?oid=9&pid=1003&finf=>
- [3] Internetizado, «Red ad hoc inalámbrica: qué es, cómo crearla, usos y características,» [En línea]. Available: <https://www.internetizado.com/red-ad-hoc>.
- [4] UIT, «Recomendación UIT-R M.1450-5. (2014). Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha.,» [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1450-5-201404-I!!PDF-S.pdf.
- [5] C. Sage y D. O. Carpenter, «Public health implications of wireless technologies» Pathophysiology, pp. 233-46, 2009.
- [6] IARC, «Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic fields » 2013. [En línea]. Available: <https://publications.iarc.fr/126>.
- [7] Organización Mundial de la Salud, «Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields» 2002. [En línea]. Available: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42543/9241545712_eng.pdf?sequence=1.
- [8] E. Chiaramello, M. Bonato, S. Fiocchi, G. Tognola, M. Parazzini, P. Ravazzani y J. Wiart, «Radio Frequency Electromagnetic Fields Exposure Assessment in Indoor Environments: A Review» Int J Environ Res Public Health, p. 16(6):955, 2019.
- [9] H. Jalilian, M. Eeftens, M. Ziaei y M. Rössli, «Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe» Environ Res, 2019.
- [10] S. Sagar, B. Struchen, V. Finta, M. Eeftens y M. Rössli, «Use of portable exposimeters to monitor radiofrequency electromagnetic field exposure in the everyday environment» Environ Res, pp. 150:289-298, 2016.
- [11] S. Sagar, S. M. Adem, B. Struchen, S. P. Loughran, M. E. Brunjes, L. Arangua, M. A. Dalvie, R. J. Croft, M. Jerrett, J. M. Moskowitz, T. Kuo y M. Rössli, «Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context» Environ Int., 2018.
- [12] R. Ramirez-Vazquez, I. Escobar, A. Martinez-Plaza y E. Arribas, «Comparison of personal exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in a Spanish university over three years» Sci Total Environ, 2023.

- [13] C. R. Bhatt, S. Henderson, C. Brzozek y G. Benke, «Instruments to measure environmental and personal radiofrequency-electromagnetic field exposures: an update» *Physical and engineering sciences in medicine*, vol. 45(3), p. 687–704, 2022.
- [14] ICNIRP, «ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)» 1998. [En línea]. Available: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>.
- [15] ICNIRP, «ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)» 2020. [En línea]. Available: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>.
- [16] RWTH Aachen University, «EMF-Portal» 2023. [En línea]. Available: <https://www.emf-portal.org/en>. [Ultimo acceso: 31 10 2023].
- [17] R. Aminzadeh, A. Thielens, A. Bamba, L. Kone, D. P. Gaillot, M. Lienard, L. Martens y W. Joseph, «On-body calibration and measurements using personal radiofrequency exposimeters in indoor diffuse and specular environments» *Bioelectromagnetics*, pp. 298-309, 2013.
- [18] C. R. Bhatt, M. Redmayne, B. Billah, M. J. Abramson y G. Benke, «Radiofrequency-electromagnetic field exposures in kindergarten children» *J Expo Sci Environ Epidemiol*, pp. 27(5):497-504, 2017.
- [19] L. E. Birks, B. Struchen, M. Eeftens, L. v. Wel, A. Huss, P. Gajšek, L. Kheifets, M. Gallastegi, A. Dalmau-Bueno, M. Estarlich, M. F. Fernandez, I. K. Meder, A. Ferrero y A. Jiménez, «Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe» *Environ Int*, pp. 117:204-214, 2018.
- [20] J. F. B. Bolte y T. Eikelboom, «Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in The Netherlands: exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area» *Environ Int*, pp. 48:133-142, 2012.
- [21] J. Choi, J.-H. Hwang, H. Lim, H. Joo, H.-S. Yang, Y.-H. Lee, M. Eeftens, B. Struchen, M. Rössli, A.-K. Lee, H.-D. Choi, J. H. Kwon y M. Ha, «Assessment of radiofrequency electromagnetic field exposure from personal measurements considering the body shadowing effect in Korean children and parents» *Sci Total Environ*, pp. 627:1544-1551, 2018.
- [22] V. Cruz Ornetta, W. Chávez Irazabal, L. Ruiton Prado, C. Livia Gil, B. Guevara Minaya, A. Vásquez Cainicela, J. Hernández Fernández y D. Shoymer Mejía, «Evaluación de radiaciones no ionizantes de la red Wi-Fi en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.» *Theorēma* (Lima, Segunda época, En línea), pp. 119-132, 2016.
- [23] P. D. Giudici, J.-C. Genier, S. Martin, J.-F. Doré, P. Ducimetière, A.-S. Evrard, T. Letertre y C. Ségala, «Radiofrequency exposure of people living near mobile-phone base stations in France» *Environ Res.*, n° 194, p. 110500, 2021.
- [24] M. Eeftens, S. Dongus, A. Bürgler, M. Rössli y ACCEDERA, «A real-world quality assessment study in six ExpoM-RF measurement devices» *Environ Res*, 2020.

- [25] M. Fernández, D. Guerra, U. Gil, I. Peña y A. Arrinda, «Measurement Methodology for Determining the Optimal Frequency Domain Configuration to Accurately Record WiFi Exposure Levels» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 68, n° 2, pp. 547-557, 2019.
- [26] P. Frei, E. Mohler, G. Neubauer, G. Theis, A. Bürgi, J. Fröhlich, C. Braun-Fahrländer, J. Bolte, M. Egger y M. Rössli, «Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields» *Environmental Research*, pp. 779-785, 2009.
- [27] L. Hardell, M. Carlberg, T. Koppel y L. Hedendahl, «High radiofrequency radiation at Stockholm Old Town: An exposimeter study including the Royal Castle, Supreme Court, three major squares and the Swedish Parliament» *Mol Clin Oncol*, pp. 462-476, 2017.
- [28] L. K. Hedendahl, M. Carlberg, T. Koppel y L. Hardell, «Measurements of Radiofrequency Radiation with a Body-Borne Exposimeter in Swedish Schools with Wi-Fi» *Front Public Health*, p. 279, 2017.
- [29] A. Huss, S. Dongus, R. Aminzadeh, A. Thielens, M. v. d. Bossche, P. V. Torre, R. d. Seze, E. Cardis, M. Eeftens, W. Joseph, R. Vermeulen y M. Rössli, «Exposure to radiofrequency electromagnetic fields: Comparison of exposimeters with a novel body-worn distributed meter» *Environ Int.*, 2021.
- [30] W. Joseph, P. Frei, M. Roösli, G. Thuróczy, P. Gajsek, T. Trcek, J. Bolte, G. Vermeeren, E. Mohler, P. Juhász, V. Finta y L. Martens, «Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe» *Environ Res*, pp. 658-663, 2010.
- [31] K. Karipidis, S. Henderson, D. Wijayasinghe, L. Tjong y R. Tinker, «Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields From Wi-Fi in Australian Schools» *Radiat Prot Dosimetry.*, vol. 175, n° 4, pp. 432-439, 2017.
- [32] J. C. Loaiza Valdeiglesias, *Medición y análisis de los niveles de electrosmog (RF) generado por el estándar 802.11 (Wi-Fi) en las áreas de exposición ocupacional.*, 2020.
- [33] I. Markakis y T. Samaras, «Radiofrequency exposure in Greek indoor environments» *Health Phys.*, vol. 104, n° 3, pp. 293-301, 2013.
- [34] A. Massardier-Pilonchery, E. Nerrière, S. Croidieu, F. Ndagijimana, F. Gaudaire, C. Martinsons, N. Noé y M. Hours, «Assessment of Personal Occupational Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in Libraries and Media Libraries, Using Calibrated On-Body Exposimeters» *Int J Environ Res Public Health.*, 2019.
- [35] A. Najera, R. Ramirez-Vazquez, E. Arribas y J. Gonzales-Rubio, «Comparison of statistic methods for censored personal exposure to RF-EMF data» *Environmental Monitoring and Assessment*, n° 77, p. 192, 2020.
- [36] A. Peyman, M. Khalid, C. Calderon, D. Addison, T. Mee, M. Maslanyj y S. Mann, «Assessment of exposure to electromagnetic fields from wireless computer networks (wi-fi) in schools; results of laboratory measurements» *Health Phys.*, vol. 100, n° 6, pp. 594-612, 2011.
- [37] R. Ramirez-Vazquez, J. Gonzalez-Rubio, E. Arribas y A. Najera, «Characterisation of personal exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields in Albacete (Spain) and assessment of risk perception» *Environ Res.*, n° 172, pp. 109-116, 2019.

- [38] R. Ramirez-Vazquez, S. Arabasi, H. Al-Taani, S. Sbeih, J. Gonzalez-Rubio, I. Escobar y E. Arribas, «Georeferencing of Personal Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in a University Area» *Int J Environ Res Public Health.*, n° 17, p. 1898, 2020.
- [39] R. Ramirez-Vazquez, I. Escobar, A. Thielens y E. Arribas, «Measurements and Analysis of Personal Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields at Outdoor and Indoor School Buildings: A Case Study at a Spanish School» *IEEE Access*, vol. 8, pp. 195692-195702, 2020.
- [40] R. Ramirez-Vazquez, J. Gonzalez-Rubio, I. Escobar, C. Del Pilar Suarez Rodriguez y E. Arribas, «Personal Exposure Assessment to Wi-Fi Radiofrequency Electromagnetic Fields in Mexican Microenvironments» *Int J Environ Res Public Health.*, n° 18, p. 1857, 2021.
- [41] K. Roser, A. Schoeni, B. Struchen, M. Zahner, M. Eeftens, J. Fröhlich y M. Rössli, «Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents» *Environ Int.*, n° 99, pp. 303-314, 2017.
- [42] F. L. Suarez, S. M. Yepes y A. Escobar, «Assessment of the electromagnetic field exposure due to wireless communication technologies in two university campuses of medellin, Colombia» *Heliyon*, vol. 9, n° 9, p. e20323., 2023.
- [43] J. Tomitsch, E. Dechant y W. Frank, «Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria» *Bioelectromagnetics.*, n° 31, pp. 200-208, 2010.
- [44] J. Tomitsch y E. Dechant, «Exposure to electromagnetic fields in households--trends from 2006 to 2012» *Bioelectromagnetics.*, n° 36, pp. 77-85, 2015.
- [45] B. Valič, B. Kos y P. Gajšek, «Typical exposure of children to EMF: exposimetry and dosimetry» *Radiat Prot Dosimetry.*, vol. 163, n° 1, pp. 70-80, 2015.
- [46] R. C. Vera, «Evaluación de los niveles de radiación no ionizante en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra (Distrito 1),» vol. 3, n° 2, p. 26-49, 2017.
- [47] L. Verloock, W. Joseph, F. Goeminne, L. Martens, M. Verlaek y K. Constandt, «Temporal 24-hour assessment of radio frequency exposure in schools and homes» *Measurement*, vol. 56, pp. 50-57, 2014.
- [48] G. Vermeeren, I. Markakis, F. Goeminne, T. Samaras, L. Martens y W. Joseph, «Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece» *Prog Biophys Mol Biol.*, pp. 254-263, 2013.
- [49] B. M. Zeleke, C. Brzozek, C. R. Bhatt, M. J. Abramson, R. J. Croft, F. Freudenstein, P. Wiedemann y G. Benke, «Personal Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields among Australian Adults» *Int J Environ Res Public Health.*, vol. 15, n° 10, p. 2234, 2018.
- [50] R. Ramirez-Vazquez, I. Escobar, G. A. E. Vandenbosch, F. Vargas, D. A. Caceres-Monllor y E. Arribas, «Measurement studies of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A systematic review» *Environ Res*, n° 114979, p. 218, 2023.
- [51] S. Sagar, S. Dongus, A. Schoeni, K. Roser, M. Eeftens, B. Struchen, M. Foerster, N. Meier, S. Adem y M. Rössli, «Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review» *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol. 28, n° 2, pp. 147-160, 2017.

Víctor Manuel Cruz Ornetta

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM, Perú) con Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones en la Universidad Ricardo Palma (URP; Perú), con Doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Especialista en Desarrollo de Normatividad sobre radiaciones ionizantes, sistemas de comunicaciones móviles, telecomunicaciones, telemedicina.

Autor corresponsal: victor.cruz@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4353-7751>

Jorge Paul Ubillús Gonzales

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Ingeniero Electrónico, egresado de la Universidad Ricardo Palma Especialidad en los Sistemas Digitales Docente desde 1993 Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma - 2005-2006 Estudio en Maestría en Docencia Superior Estudio en Maestría de Ingeniería Electrónica Director de la Oficina Central de Informática y Cómputo de la Universidad Ricardo Palma - Desde 2016

jorge.ubillus@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6156-6663>

Julio César González Prado

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Ingeniero electrónico por la universidad nacional de ingeniería maestro en ciencias de la electrónica con mención en control y automatización por la universidad nacional del callao. Maestro en docencia superior por la Universidad Ricardo Palma. Estudios concluidos de doctorado en Ingeniería eléctrica por la universidad nacional del callao. Docente de la Universidad Ricardo Palma de la carrera de Ingeniería electrónica e Ingeniería mecatrónica. Areas de interés: sistemas digitales y microelectrónica

julio.gonzalez@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0384-7015>

Milton Marcelo Peña Calero

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica.

202120442@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-0767-7698>

Contribución de autoría

Víctor Cruz ha participado en la elaboración, la selección de los materiales abordados, el desarrollo de la perspectiva metodológica implementada. Julio González de la redacción del artículo. Por su parte, Jorge Ubillús también ha participado en la elaboración, la selección de los materiales abordados, el desarrollo de la perspectiva metodológica implementada. Finalmente, Milton Peña realizó la revisión crítica, conclusiones y recomendaciones de la investigación y da junto con todos los coautores su aprobación a la versión final que se publica en la revista.

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores.

Conflicto de intereses

Los autores no presentan ningún conflicto de interés.

Responsabilidad ética y legal

La investigación se realizó bajo los principios de la ética sin comprometer ninguna información privada que pudiera afectar a los emisores de la investigación.

Correspondencia: victor.cruz@urp.edu.pe