

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES EN EL DISTRITO I DE SUCRE

IMPACT OF NON-IONIZING RADIATION IN DISTRICT I OF SUCRE

Cristina Vilardell Balasch

Universidad San Francisco Xavier

vilardell.cristina@usfx.bo

<https://orcid.org/0000-0002-3136-2130>

Bolivia

Recibido: 15 Junio 2026 / Revisado: 30 Julio 2026 / Aceptado: 2 Agosto 2026 / Publicado: 4 Agosto 2026

Resumen

El presente estudio evalúa los niveles de emisiones electromagnéticas no ionizante generados por estaciones base de telefonía móvil en el Distrito I de la ciudad de Sucre, analizando su posible relación con sintomatología neurológica en la población expuesta. La investigación se desarrolló mediante mediciones de campo con analizador de espectro, georreferenciación GPS e interpolación geoestadística mediante Kriging en QGIS. Asimismo, se aplicaron encuestas estructuradas a 135 participantes para explorar posibles correlaciones entre exposición y síntomas reportados. Los resultados evidencian valores promedio de -73 dBm, significativamente inferiores a los límites establecidos por la ICNIRP y la normativa nacional vigente. No se identificó correlación estadísticamente significativa entre niveles de exposición y sintomatología. Se concluye que los niveles medidos no representan riesgo sanitario bajo las condiciones evaluadas.

Palabras clave: Emisiones electromagnéticas no ionizantes, telefonía móvil, exposición electromagnética, salud pública, geoestadística.

Abstract

This study evaluates non-ionizing electromagnetic radiation levels generated by mobile phone base stations in District I of Sucre and analyzes their potential relationship with neurological symptoms in the exposed population. Field measurements were conducted using a spectrum analyzer and GPS georeferencing, complemented by geostatistical interpolation through Kriging in QGIS. Structured surveys were also applied to 135 participants. Average values were -73 dBm, significantly below ICNIRP limits. No statistically significant association was found between exposure levels and reported symptoms.

Keywords: *Non-ionizing radiation, mobile networks, electromagnetic exposure, public health, geostatistics.*

Introducción

El siglo XXI se caracteriza por un desarrollo acelerado de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, generando múltiples beneficios en términos de conectividad, acceso al conocimiento y eficiencia en los procesos sociales y productivos. Sin embargo, este avance también ha suscitado interrogantes en relación con la seguridad tecnológica, tanto en lo que respecta al contenido transmitido como a los métodos de transmisión inalámbrica basados en ondas electromagnéticas y sus posibles efectos biológicos sobre el organismo humano, comúnmente denominados bioefectos de las emisiones electromagnéticas (ICNIRP, 2020).

El uso emisiones electromagnéticas no es un fenómeno reciente. Aplicaciones como los rayos X, la electricidad de baja frecuencia, la radio y la televisión han empleado estas ondas desde hace más de un siglo. Asimismo, el estudio de las señales bioeléctricas tiene antecedentes históricos en los trabajos de Luigi Galvani y Alessandro Volta en el siglo XVIII, quienes sentaron las bases del conocimiento sobre la electricidad en organismos vivos. Posteriormente, investigaciones desarrolladas por Carlo

Matteucci en el siglo XIX profundizaron en estos fenómenos, contribuyendo al desarrollo de aplicaciones médicas como la galvano-cauterización (Hardell & Carlberg, 2013).

El interés científico en los posibles efectos biológicos de las ondas electromagnéticas se intensificó a partir del desarrollo del radar durante la Segunda Guerra Mundial y, de manera más significativa, desde la expansión de la telefonía móvil en la década de 1980. Este crecimiento generó preocupación en la población y motivó la intervención de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y otras entidades reguladoras, que impulsaron programas de investigación y normativas precautorias, aun cuando no existía evidencia concluyente de efectos adversos a los niveles de exposición habituales (OMS, 2014; ITU, 2018). En la actualidad, una de las principales fuentes de emisiones electromagnéticas no ionizantes corresponde a las redes de telefonía celular, cuyo uso masivo ha transformado las dinámicas de comunicación global. Las radiofrecuencias empleadas en estos sistemas pertenecen al espectro no ionizante, lo que implica que no poseen energía suficiente para ionizar átomos o romper enlaces moleculares. No obstante, pueden penetrar en los tejidos

biológicos y producir efectos térmicos mediante la absorción de energía, fenómeno cuantificado a través del parámetro SAR (Specific Absorption Rate). Los organismos internacionales han establecido límites de exposición con amplios márgenes de seguridad, situados por debajo del umbral de 4 W/kg considerado como referencia de riesgo térmico (ICNIRP, 2020).

La literatura científica aborda esta temática desde dos perspectivas principales: un enfoque ingenieril, centrado en la caracterización física de los campos electromagnéticos, la evaluación de los niveles de exposición y la verificación del cumplimiento normativo; y un enfoque biomédico, orientado al análisis de sus posibles efectos sobre la salud, incluyendo estudios sobre carcinogénesis y alteraciones neurológicas. Si bien algunos informes han señalado posibles riesgos, incluyendo advertencias provenientes de asociaciones médicas internacionales, la evidencia científica disponible no ha permitido establecer conclusiones definitivas sobre la naturaleza maligna o benigna de los bioefectos observados. No obstante, sí se reconoce la existencia de efectos térmicos y no térmicos bajo determinadas condiciones experimentales (Yakymenko et al., 2016; Volkow et al., 2011).

En respuesta a la creciente inquietud pública, la OMS creó en 1996 el Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos, concluyendo que, considerando los bajos niveles de exposición provenientes de estaciones base y redes inalámbricas, no existe evidencia científica convincente que demuestre efectos adversos en la salud dentro de los límites establecidos (OMS, 2014). Paralelamente, la ITU ha desarrollado procedimientos técnicos para verificar el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales de seguridad en instalaciones de telecomunicaciones (ITU, 2018).

En este contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar los niveles de exposición a emisiones electromagnéticas no ionizante generada por estaciones base de telefonía móvil en el Distrito I de la ciudad de Sucre, mediante mediciones instrumentales de campo e interpolación geoestadística, y analizar su posible relación con sintomatología neurológica autorreportada en la población expuesta. De esta manera, se busca aportar evidencia técnica local que permita contrastar los niveles medidos con los límites normativos vigentes y contribuir a una valoración objetiva del riesgo sanitario en el entorno urbano estudiado.

Diversas campañas de medición ambiental de radiofrecuencia respaldan la estrategia metodológica adoptada en este estudio. En Bélgica, campañas urbanas de banda ancha con analizadores de espectro portátiles y estrategias de muestreo espacial similares reportaron niveles de exposición muy por debajo de los límites normativos, empleando igualmente interpolación geoestadística para generar mapas continuos de exposición (Aerts et al., 2013).

En Europa, revisiones sistemáticas de campañas de medición en exteriores en entornos urbanos de varios países han documentado niveles medios de densidad de potencia del orden de microwatios por metro cuadrado, coherentes con los órdenes de magnitud aquí registrados, y han identificado a las estaciones base de telefonía móvil como la fuente dominante en vía pública (Rowley & Joyner, 2012). En América Latina, estudios de caracterización espacial de emisiones no ionizantes en cascos históricos urbanos —con configuración de fuentes y densidad edificatoria comparables al Distrito I de Sucre— han encontrado igualmente niveles muy inferiores a los límites de referencia, aunque con concentraciones puntuales asociadas a la proximidad de infraestructura de

telecomunicaciones. A diferencia de estos antecedentes, el presente estudio incorpora dos etapas temporales sucesivas sobre la misma zona urbana y contrasta explícitamente los resultados con encuestas de sintomatología autorreportada en las instituciones más expuestas, aportando una perspectiva local inédita para el casco histórico de Sucre, Bolivia, donde no se dispone de antecedentes de este tipo.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los patrones de emisiones electromagnéticas no ionizante en el Distrito I de la ciudad de Sucre, diferenciando zonas próximas (≤ 200 m) y distantes (> 200 m) respecto a estaciones base de telefonía móvil. Asimismo, se analizó la posible relación entre los niveles de exposición medidos y la percepción social del riesgo, así como variables autorreportadas de salud neurológica.

La investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo descriptivo con componentes experimentales y estadísticos, complementado con análisis geoestadístico mediante sistemas de información geográfica (SIG).

Revisión bibliográfica

Durante todas las fases del estudio se aplicó el método de revisión bibliográfica como soporte teórico y técnico. Este incluyó la consulta de manuales de los equipos de medición, normativa internacional vigente, literatura científica sobre bioefectos de emisiones electromagnéticas no ionizantes y estudios previos de correlación epidemiológica.

Este proceso permitió sustentar el diseño metodológico, formular la hipótesis de

investigación y contextualizar los resultados obtenidos dentro del marco científico actual (ICNIRP, 2020; OMS, 2014).

Método experimental y mediciones de campo

Las mediciones de emisiones electromagnéticas se realizaron mediante un analizador de espectro GSP-830 Instek, configurado para registrar niveles de potencia en las bandas de frecuencia correspondientes a telefonía móvil. Para la georreferenciación de cada punto de medición se utilizó el sistema GPS de un dispositivo móvil Samsung S7 Edge.

La selección de puntos se realizó siguiendo un criterio geométrico basado en la disposición urbana del Distrito I, considerando plazas, plazuelas, calles y avenidas principales. En total se establecieron 106 puntos de medición distribuidos estratégicamente en la zona de estudio.

Las mediciones se llevaron a cabo durante los meses de febrero, agosto y septiembre de 2019, bajo condiciones meteorológicas comprendidas entre 12 °C y 20 °C, con humedad relativa entre 12 % y 45 %.

Se empleó la metodología de drive test, definida como la evaluación sistemática del nivel de potencia de señal a lo largo de rutas previamente establecidas en redes celulares, independientemente de su tecnología (GSM, UMTS, LTE, entre otras) (TelecomHall, 2018).

Procesamiento geoespacial e interpolación

Dado que las mediciones se realizaron exclusivamente en exteriores, se aplicó interpolación geoestadística para estimar la distribución espacial de los niveles de

potencia en localizaciones exteriores no muestreadas dentro del área de estudio. Las estimaciones obtenidas mediante Kriging se limitaron al dominio espacial cubierto por los puntos de medición y no se extrapolaron a ambientes interiores, debido a que el estudio no incorporó mediciones intramuros ni parámetros asociados con la atenuación producida por los materiales y las características constructivas de las edificaciones.

El procesamiento se realizó mediante el software QGIS versión 3.18, empleando la extensión SAGA GIS 2.3.2 para la aplicación del método de Kriging Ordinario.

El método de Kriging constituye una técnica geoestadística que permite estimar valores en puntos no medidos mediante correlación espacial, proporcionando la mejor estimación lineal insesgada con mínima varianza (Cressie, 1993). Esta propiedad ha sido explotada específicamente en la evaluación de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en entornos urbanos, donde el Kriging ha permitido generar mapas continuos de exposición a partir de mediciones puntuales georreferenciadas (Aerts et al., 2013).

La precisión del método depende de factores como: Número y calidad de las muestras, distribución espacial de los puntos, distancia entre muestras y puntos estimados, continuidad espacial del fenómeno analizado.

El uso de sistemas de información geográfica permitió optimizar el procesamiento de datos y generar mapas temáticos de emisiones electromagnéticas y riesgo potencial.

Métodos estadísticos

El análisis estadístico se realizó bajo un enfoque paramétrico descriptivo. Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel,

considerando variables de latitud, longitud y nivel de potencia (dBm).

Se evaluó la distribución de los datos respecto a la normalidad y se elaboraron tablas y gráficos de frecuencias. Los métodos estadísticos permitieron contrastar hipótesis y explorar posibles relaciones entre niveles de exposición y variables autorreportadas de salud.

Encuesta y cálculo muestral

Se aplicó una encuesta estructurada a población mayor de 18 años con residencia o actividad laboral en la zona de mayor exposición estimada. El instrumento incluyó secciones orientadas a evaluar: lenguaje espontáneo, memoria, cálculo matemático, pares craneales asociados a visión, pares craneales asociados a mímica facial, pares craneales relacionados con audición y equilibrio, motricidad gruesa, evaluación neurológica específica

Cada ítem fue diseñado como variable cuantitativa independiente, permitiendo una aproximación indirecta al diagnóstico presuntivo de alteraciones neurológicas mediante anamnesis estructurada.

El tamaño de muestra se calculó utilizando la fórmula clásica para poblaciones finitas (Cochran, 1977):

$$n = (N \cdot Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q) / (d^2 (N-1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q) \quad (1)$$

Donde:

N=748 (población total estimada en la zona),
Z_α=1.28 (nivel de confianza del 80 %), p=0.5,
q=0.5, d=0.05(precisión del 5 %).

El cálculo permitió determinar el número mínimo de encuestas necesarias para garantizar validez estadística.

Consideraciones éticas

Las encuestas fueron realizadas con consentimiento informado verbal, garantizando anonimato y confidencialidad de la información recopilada. El estudio se desarrolló con fines exclusivamente académicos y de investigación científica.

Área de estudio, muestreo y agregación de potencia

La investigación tuvo dos etapas, la primera realizada del 9 al 24 de febrero de 2019 y la segunda que abarca del 6 de agosto hasta el 14 de septiembre del 2019. En la primera etapa se tomaron como muestra solamente unas cuadas del distrito uno de la ciudad de Sucre y en la segunda se consideró a todo el distrito I, como se puede apreciar en la figura 1; toda la zona de estudio representa el casco histórico de la ciudad de Sucre, donde se encuentran oficinas de gestión pública, colegios, bancos, la universidad San Francisco Xavier, oficinas varias, restaurantes, hoteles, iglesias, museos, comercios y viviendas. Todas las mediciones fueron en exteriores, en las calles del distrito I.



Figura 1. Zonas de estudio de la ciudad de Sucre

Nota: Elaborado con Google Maps

En la primera etapa se tomaron 106 puntos de referencia y en la segunda etapa 1028 puntos. En cada punto se registró la potencia recibida (P_i , en dBm) en las frecuencias de 700, 850, 851.2, 1700, 1900 y 2100 MHz, correspondiendo P_i al valor máximo de traza («max hold») registrado por el analizador de espectro GSP830 en cada canal, con un ancho de banda de resolución (RBW) de 100 kHz. Dado que la unidad dBm es logarítmica y las señales de distintas frecuencias son incoherentes entre sí, la potencia total no puede obtenerse sumando directamente los valores en dBm; la agregación de potencias en escala logarítmica mediante conversión previa a escala lineal es un procedimiento estándar en ingeniería de radiofrecuencia (Rappaport, 2002). Por ello, para completar la tabla, cada valor se convirtió a potencia lineal mediante:

$$P_i(\text{mW}) = 10^{[P_i(\text{dBm})/10]} \quad (2)$$

donde $P_i(\text{dBm})$ es la potencia recibida en la frecuencia i , expresada en dBm, y $P_i(\text{mW})$ es su equivalente en potencia lineal, en milivatios. A continuación, se sumaron aritméticamente las seis potencias lineales y el resultado se reconvirtió a escala logarítmica mediante:

$$P_{\text{total}}(\text{dBm}) = 10 \cdot \log_{10}[\sum P_i(\text{mW})] \quad (3)$$

obteniéndose así el nivel agregado de potencia recibida por punto (P_{total}). A modo de ejemplo, para un punto con lecturas de -78,3 dBm (700 MHz), -81,1 dBm (850 MHz), -79,6 dBm (851.2 MHz), -83,4 dBm (1700 MHz), -80,7 dBm (1900 MHz) y -77,9 dBm (2100 MHz), la conversión mediante la ecuación (2) da $1,48 \times 10^{-8}$, $7,76 \times 10^{-9}$, $1,10 \times 10^{-8}$, $4,57 \times 10^{-9}$, $8,51 \times 10^{-9}$ y $1,62 \times 10^{-8}$ mW respectivamente; su suma aritmética ($6,35 \times 10^{-8}$ mW) reconvertida mediante la ecuación (3) da $P_{\text{total}} \approx -71,97$ dBm. El analizador de espectro GSP830 no cuenta con georreferenciación y las

mediciones fueron puntuales, se tuvo que obtener por separado mediante GPS la latitud y longitud de cada medida.

Para comparar la potencia recibida con los límites normativos de la Figura 6, expresados como densidad de potencia (S), la lectura del analizador se convirtió mediante el área efectiva de la antena receptora, un dipolo de aproximadamente 10 cm de longitud total, correspondiente a un dipolo de media onda con ganancia estándar de 2,15 dBi (Balanis, 2016). El área efectiva se define como:

$$A_e = (\lambda^2/4\pi) \cdot G \quad (4)$$

donde λ es la longitud de onda a la frecuencia de medición y G es la ganancia de la antena en unidades lineales ($G = 10(2,15/10) \approx 1,64$). La densidad de potencia se obtiene entonces mediante:

$$S = P_{\text{total}}(W) / A_e(m^2) \quad (5)$$

A modo de ejemplo, para el punto de referencia utilizado en la ecuación (3) ($P_{\text{total}} \approx -71,97 \text{ dBm} \approx 6,35 \times 10^{-11} \text{ W}$), el área efectiva en la frecuencia dominante de 2100 MHz ($\lambda \approx 0,143 \text{ m}$) resulta $A_e \approx 2,66 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, de donde $S \approx 2,39 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ ($\approx 2,39 \times 10^{-6} \text{ } \mu\text{W/cm}^2$), un valor entre cuatro y cinco órdenes de magnitud por debajo de los límites de referencia de la Figura 6.

Esta estimación no incorpora pérdidas de cable, conectores ni la incertidumbre de calibración del sistema de medición, que no fueron documentadas durante la campaña; por tratarse de una antena de banda relativamente estrecha, la ganancia de 2,15 dBi es una aproximación razonable para las seis frecuencias evaluadas (700–2100 MHz), pero introduce una fuente adicional de incertidumbre que debe reconocerse como limitación del estudio.

Resultados

El tema de las emisiones electromagnéticas ha causado controversia desde hace tiempo en nuestra sociedad debido a sus potenciales efectos sobre la salud. A la fecha existen investigaciones con resultados contradictorios al respecto y sin conclusión definitiva, lo cual ha llevado a las organizaciones de salud y técnicas solo a definir normas precautelares hasta la fecha.

Por todo ello nos preguntamos: ¿Cuál es el nivel de exposición de la población chuquisaqueña a dichas exposiciones y cuál es su riesgo potencial?

El estudio permitió caracterizar los patrones espaciales y temporales del riesgo de exposición a emisiones electromagnéticas no ionizante en la población de Sucre y evaluar el riesgo potencial local para la salud pública.

Mapa de potencia

Con las tablas se pudo elaborar los mapas, mediante interpolación ordinaria de kriging con el sistema de información geográfico QGIS, esto permitió completar el mapa estimando las muestras en los lugares a los cuales no se pudo acceder, los resultados de la primera etapa se encuentran en la figura 2.

Los niveles de potencia registrados durante la primera etapa presentaron una distribución aproximadamente normal, con un valor medio de $-73,08 \text{ dBm}$, tal como se observa en la Figura 3. Este comportamiento también mostró concordancia con la distribución espacial obtenida mediante la interpolación geoestadística, cuyos valores estimados conservaron una tendencia central y un patrón de variabilidad coherentes con los datos experimentales.

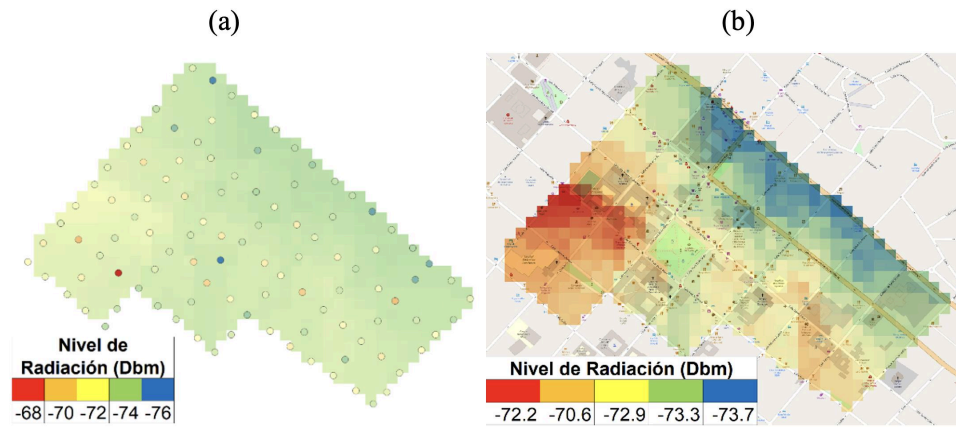


Figura 2. Mapa de emisiones electromagnéticas de la etapa 1 en relación con las muestras (a) en relación con el croquis de la ciudad (b)

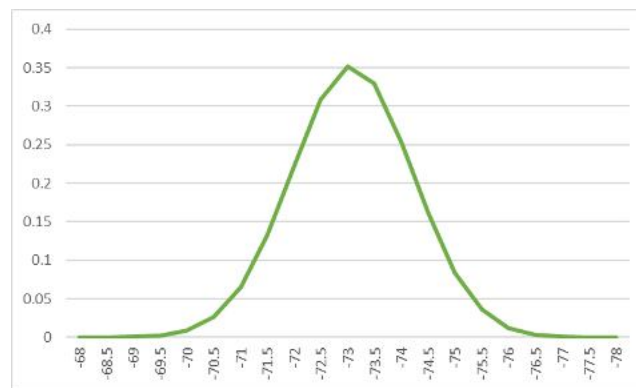


Figura 3. Distribución normal de las muestras de la etapa 1

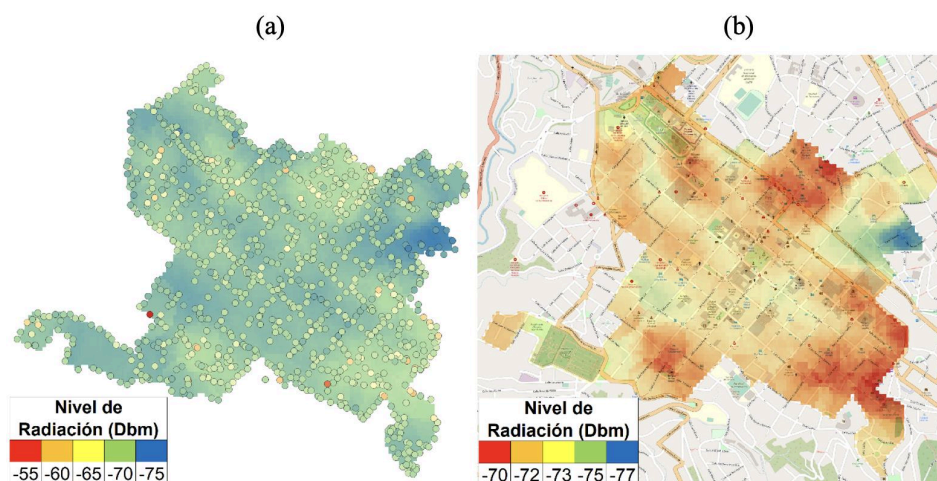


Figura 4. Mapa de emisiones electromagnéticas de la etapa 2 en relación con las muestras (a) en relación con el croquis de la ciudad (b)

En la segunda etapa se procedió de manera similar, pero se aumentó el número de puntos, obteniendo los resultados de figura 4, con su respectiva tendencia en la figura 5, cuya promedio -72.97 dBm.

Comparativas de datos

Estos valores obtenidos en campo, se los comparó con los recomendados por las normativas de [16], [17] y [18], obteniendo que estos valores están muy por debajo de los límites de emisiones electromagnéticas. Mismos que se puede apreciar en la figura 6.

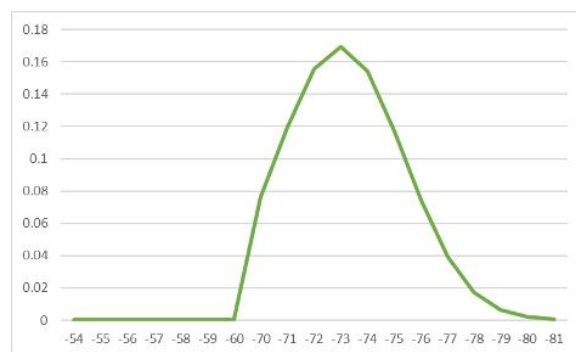


Figura 5. Distribución normal de las muestras de la etapa 2.

Tabla 2. Límites máximos para ambientes no controlados - público en general.

Rango de frecuencias (MHz)	Densidad de potencia (mW/cm ²)	Densidad de potencia (dBm/cm ²)	Densidad de potencia (dB/cm ²)
0.3 - 3.0	100	20	-10
3.0 - 30	180 / f ² (f=30 MHz)	7.78	-22.22
30 - 300	0.2	-6.9	-36.9
300 - 1500	f/1500 (f=1500 MHz)	0	-30
1500 - 100000	1	0	-30

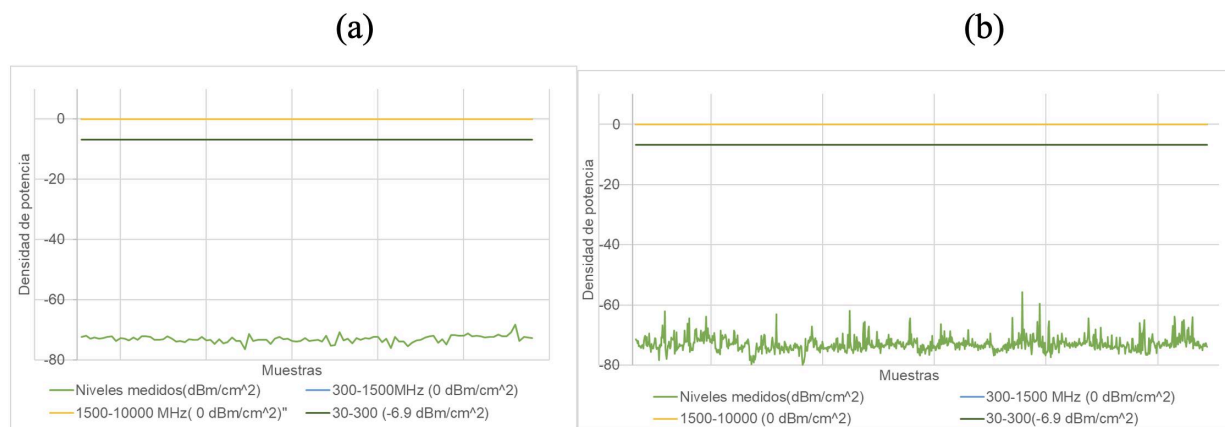


Figura 6. Límites máximos para ambientes no controlados-Público en general
Primera etapa (a) Segunda Etapa (b)

También se comparó ambas mediciones en función de los mismos rangos, pudiéndose observar que no hubo diferencias significativas entre ambos periodos de tiempo, sin embargo, como en la segunda etapa se

tuvieron mas muestras, se puede percibir que la distribución es más heterogénea que en la segunda etapa, aunque siguen compartiendo similitudes, que se ve en la Figura 7.

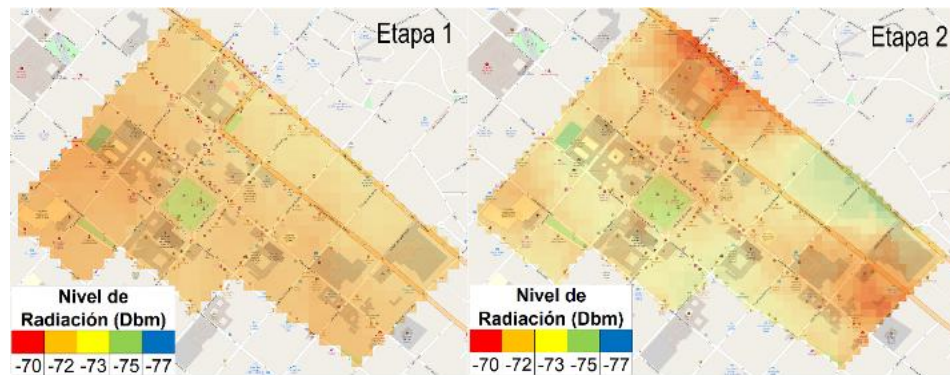


Figura 7. Comparación de los mapas de emisiones electromagnéticas de la etapa 1 y la etapa 2

También se comparó ambas mediciones en función de los mismos rangos, pudiéndose observar que no hubo diferencias significativas entre ambos periodos de tiempo, sin embargo, como en la segunda etapa se tuvieron más muestras, se puede percibir que la distribución es más heterogénea que en la segunda etapa, aunque siguen compartiendo similitudes, que se ve en la Figura 7.

Encuestas

En base a los resultados estimados de la primera etapa, se determinó que el tramo de la calle Estudiantes adyacente al edificio central de la Universidad San Francisco Xavier (19°02'50"S, 65°15'40"W) presentaba los niveles más altos de exposición a emisiones electromagnéticas registrados, respecto a las demás zonas relevadas (Figura 8). Este sector corresponde al núcleo institucional del casco histórico del Distrito I: en un radio aproximado de 150 a 230 metros se ubican el edificio central de la Universidad San Francisco Xavier, la Alcaldía municipal (Gobierno Autónomo Municipal de Sucre), la

Gobernación de Chuquisaca y la Catedral Metropolitana, además de varios colegios e institutos educativos. En consecuencia, se procedió a realizar una encuesta y pruebas en las instituciones ubicadas dentro de dicho radio de mayor exposición a emisiones electromagnéticas.

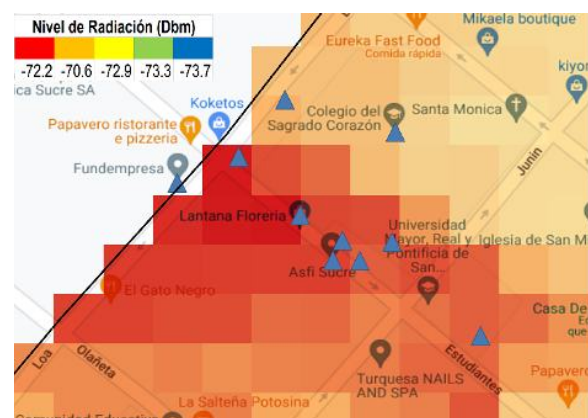


Figura 8. Puntos de mayor exposición a emisiones electromagnéticas de la etapa.

Partiendo de la zona delimitada obtenemos el número de pobladores por manzana registrados en el censo del 2012.

Tabla 3. Número de Pobladores en la zona de mayor exposición a emisiones electromagnéticas, censo 2012.

No	Código INE	Viviendas	Población empadronada
1	417231965-A	6	19
2	417266561-A	29	42
3	417302180-A	72	153
4	417166368-A	74	155
5	417200886-A	58	178
6	417236130-A	73	201
TOTAL	---	312	748

Nota: Elaborado en base a [19]

Aplicando la Ecuación (1), se obtiene que:

$$n = \frac{748 \cdot 1.28^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.05^2 \cdot (748 - 1) + 1.28^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5} = 134.54868$$

Tabla 4. Descripción de los encuestados.

Instituciones	Cantidad
Editorial La Hoguera	3
Oficina ASFI Sucre	4
Regional CAS Sucre	4
Fundempresa	4
Gestora Publica Sucre	3
Univida	10
Radio Loyola	4
Regional AIT	11
Colegio Sagrado Corazón	55
Universidad Central USFX	37
TOTAL	135

Una vez obtenida finalizada la encuesta a las 135 personas se tienen los siguientes resultados. Los porcentajes de interrogantes específicos de este cuestionario a una determinada enfermedad, considerando las de mayor prevalencia, son los siguientes:

1. Epilepsia (EPI) 20%
2. Enfermedad Cerebral Vascular (ECV) 60%
3. Demencias (DEM) 40%
4. Enfermedad de Alzheimer (ALZ) 40%
5. Enfermedad de Parkinson (PARK) 20%
6. Tumores cerebrales (TUM) 40%

Nota: Este cuestionario no debe entenderse como pronóstico del desarrollo de enfermedades neurológicas, ni como cuadro diagnóstico de las mismas, sino como paso inicial de tamizaje a lo que podría considerarse un acercamiento a la signosintomatología neurológica y como datos potenciales de riesgo en la población definida. El diagnóstico de cualquier patología del sistema nervioso, además de la anamnesis, incluye examen físico completo y exámenes de gabinete de moderada a gran complejidad.

Recordando los segmentos antes mencionados, su relación con enfermedades concretas es la siguiente:

1. Evaluación del lenguaje espontáneo: ECV, DEM, ALZ, TUM.
2. Evaluación de la memoria: ECV, DEM, ALZ, TUM.
3. Evaluación del cálculo matemático: DEM, ECV, ALZ
4. Evaluación de los pares craneales relacionados con la visión: EPI, ECV, DEM.
5. Evaluación de los pares craneales relacionados con la mímica facial: ECV, PARK.
6. Evaluación de los pares craneales relacionados con el oído y el equilibrio: TUM.
7. Evaluación de la motricidad gruesa: ALZ, PARK, TUM.
8. Evaluación neurológica específica: EPI, ECV

Tabla 5. Resultados obtenidos de las encuestas.

Descripción	Cantidad	Porcentaje de la población estudiada
Individuos con alteraciones de lenguaje	0	0%
Individuos con alteraciones de la memoria	0	0%
Individuos con alteraciones relacionadas con el cálculo	31	23%
Individuos con alteraciones de los pares craneales de la visión	16	12%
Individuos con alteraciones de las partes craneales relacionadas con la mímica facial	24	18%
Individuos con alteraciones de los pares craneales relacionados con el oído y el equilibrio	26	19%
Individuos con alteraciones de la motricidad fina.	9	7%
Individuos con alteraciones neurológicas específicas	35	26%

A través de promedios de frecuencias acumuladas, se correlacionan los datos y se obtienen los siguientes datos.

Tabla 6. Datos de las encuestas en relación a personas con enfermedades a nivel mundial

Descripción	Personas Encuestadas 135		Población Mundial (2015) 7 103 297 899	
	Relación	Porcentaje	Número	Relación
Los encuestados presentan sintomatología relacionada a Epilepsia.	3,2:1000	31.9 %	44 568 780	6,27:1000
Los encuestados presentan sintomatología relacionada a Demencia.	2,9:1000	28.8 %	31 318 923	4,41:1000
Los encuestados presentan sintomatología relacionada a Enfermedad Cerebral Vascular.	5,8:1000	51.8 %	67 212 050	9,46:1000
Los encuestados presentan sintomatología relacionada a Enfermedad de Alzheimer.	1,9:1000	19.2 %	31 318 923	4,41:1000
Los encuestados presentan sintomatología relacionada con Enfermedad de Parkinson.	2,1:1000	20.7 %	5 967 673	0,84:1000

Luego de concluir las encuestas, se procedió a cruzar y correlacionar los resultados obtenidos. Tomando en cuenta que, de acuerdo con las recomendaciones de la ICNIRP, toda exposición a emisiones electromagnéticas por debajo de 1 W/m^2 , no es dañino para el ser humano, y relacionando esto con los resultados obtenidos de las mediciones, se evidencia de que todas están por debajo del límite, por lo tanto, se podría considerar que los niveles de potencia medidos no representan ningún peligro para la salud de las personas a causa de las antenas de telefonía móvil.

Discusión

Los resultados confirman el cumplimiento de la normativa nacional e internacional vigente. No se identificó asociación entre niveles de exposición y sintomatología reportada. Estos hallazgos son consistentes con estudios internacionales que indican ausencia de efectos adversos concluyentes a niveles por debajo de los límites regulatorios.

El presente estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse en la interpretación de los resultados. Las mediciones se realizaron exclusivamente en espacios exteriores; por tanto, los mapas interpolados representan la distribución espacial exterior de los niveles registrados y no permiten inferir directamente la exposición en ambientes interiores. Esta última puede diferir debido a la atenuación producida por fachadas, paredes, cristales y otros elementos constructivos, así como por la presencia de fuentes radioeléctricas internas. En segundo lugar, el diseño transversal impide establecer relaciones causales entre los niveles de exposición y la sintomatología reportada.

Asimismo, la evaluación neurológica se basó en información autorreportada mediante una encuesta estructurada, lo que no sustituye un diagnóstico clínico especializado ni la realización de pruebas complementarias. Finalmente, no se efectuaron mediciones individuales de la tasa de absorción específica —SAR—, por lo que la estimación del impacto biológico se fundamentó en los niveles ambientales medidos y en su comparación con los valores normativos de referencia. Estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos, pero delimitan su alcance y justifican la realización de estudios posteriores con diseños longitudinales y condiciones experimentales más controladas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que los niveles de emisiones electromagnéticas no ionizante registrados en el Distrito I de la ciudad de Sucre se mantienen consistentemente por debajo de los límites máximos de exposición establecidos por la normativa internacional (ICNIRP) y la regulación nacional vigente. En consecuencia, bajo las condiciones de medición y parámetros evaluados, no se identifican excedencias regulatorias atribuibles a las estaciones base de telefonía móvil en el área de estudio.

La implementación de mapas de distribución espacial de potencia mediante interpolación geostatística constituye una herramienta robusta para la evaluación objetiva del cumplimiento normativo y la caracterización del riesgo potencial. Desde una perspectiva de gobernanza regulatoria, se sugiere que los organismos competentes adopten esquemas sistemáticos y periódicos de monitoreo ambiental, acompañados de mecanismos de divulgación transparente, a fin de fortalecer la

legitimidad institucional y mitigar percepciones infundadas de riesgo.

El análisis comparativo entre los niveles de exposición medidos y las variables autorreportadas de sintomatología neurológica no evidenció asociación estadísticamente significativa. Asimismo, no se identificó correlación consistente entre la percepción subjetiva de riesgo por parte de los encuestados y los indicadores epidemiológicos evaluados, lo cual sugiere la posible influencia de factores psicosociales en la construcción del riesgo percibido.

No obstante, la ausencia de evidencia de asociación en el presente estudio no implica la inexistencia de efectos biológicos bajo condiciones diferentes de exposición, tales como escenarios de mayor intensidad, mayor duración o susceptibilidad individual específica. En consecuencia, se recomienda continuar con investigaciones longitudinales, estudios multicéntricos y análisis experimentales controlados que permitan profundizar en la comprensión de los posibles efectos térmicos y no térmicos de las emisiones electromagnéticas no ionizantes, contribuyendo al fortalecimiento del cuerpo de evidencia científica en este ámbito.

Conflictos de intereses

La autora declara que no existe conflicto de intereses en la elaboración y publicación del presente artículo científico.

Referencias Bibliográficas

Aerts, S., Deschrijver, D., Verloock, L., Dhaene, T., Martens, L., & Joseph, W. (2013). Assessment of outdoor radiofrequency electromagnetic field exposure through hotspot localization using kriging-based sequential sampling. *Environmental Research*, 126, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.05.005>

Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.

Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.

Cressie, N. (1993). *Statistics for spatial data* (ed. rev.). John Wiley & Sons.

Hardell, L., & Carlberg, M. (2013). Using the Hill viewpoints from 1965 for evaluating strengths of evidence of the risk for brain tumors associated with use of mobile and cordless phones. *Reviews on Environmental Health*, 28(2–3), 97–106. <https://doi.org/10.1515/reveh-2013-0006>

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. (2012). *Normativa nacional sobre límites de exposición a campos electromagnéticos*.

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>

Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda. (2018). *Reglamento técnico de radiocomunicaciones en Bolivia*. Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia.

Organización Mundial de la Salud. (2014). Campos electromagnéticos y salud pública: Teléfonos móviles. <https://www.who.int>

Rowley, J. T., & Joyner, K. H. (2012). Comparative international analysis of radiofrequency exposure surveys of mobile communication radio base stations. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 22(3), 304–315. <https://doi.org/10.1038/jes.2012.13>

Volkow, N. D., Tomasi, D., Wang, G.-J., Vaska, P., Fowler, J. S., Telang, F., Alexoff, D., Logan, J., & Wong, C. (2011). Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA*, 305(8), 808–813. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.186>

Yakymenko, I., Tsybulin, O., Sidorik, E., Henshel, D., Kyrylenko, O., & Kyrylenko, S. (2016). Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 35(2), 186–202. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1043557>