

# CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS ESPACIAL Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

## Resumen

*La proliferación de los sistemas de comunicaciones, que emplean el espectro radioeléctrico para transmitir señales utilizando fuentes de radiación no ionizante (RNI) han preocupado a organismos, instituciones, a la comunidad científica y al público en general, en relación con los efectos sobre la salud, de la exposición continua del cuerpo humano a campos electromagnéticos (CEM). En este estudio se determinó la magnitud de la polución electromagnética en un área urbana piloto en la ciudad de Caracas – Venezuela, mediante mediciones georeferenciadas de: intensidad de campo eléctrico en la banda 100 kHz y 6 GHz y de la magnitud del campo eléctrico y del campo magnético a 60 Hz; con el propósito de representar y analizar espacialmente los datos usando GvSIG y SEXTANTE, lo cual resultó en un conjunto de mapas coropléticos que fueron validados experimentalmente y en donde se plasma la distribución de CEM de dicha zona.*

**Palabras claves:** Espectro radioeléctrico, Radiación no ionizante, Campos electromagnéticos, Mapa coroplético, Sistemas de Información Geográfica.

## Autores:

Ing. Barón Marco Azpúrua (1)

*bazpurua@fii.gob.ve*

Br. Karina Dos Ramos Teixeira (1)

*kari5824@hotmail.com*

Lic. Gloria Yamileth Bolívar Durán (2)

*gbolivar@fii.gob.ve*

Ing. MSc. Rosa Maria Aguilar (2)

*rosaa@fii.gob.ve*

1. Instituto de Ingeniería – Laboratorio de Electromagnetismo Aplicado.
2. Instituto de Ingeniería – Centro de Procesamiento Digital de Imágenes.

Sitios web: [www.eninsel.org](http://www.eninsel.org) y [www.fii.org](http://www.fii.org)

Teléfonos: (+58) 212-9034702

## 1. Introducción

Los organismos que habitan en el planeta son capaces de adaptarse paulatinamente a pequeñas variaciones en los factores ambientales como la presión, la temperatura, la humedad, los campos electromagnéticos naturales, entre otros; sin embargo cuando estas variaciones son muy grandes, los seres vivos pueden ser afectados. Los campos magnéticos, eléctricos y electromagnéticos generados por el hombre poseen magnitudes muy superiores, y por ende tienen la capacidad de afectar las funciones de dichos organismos.

Se ha observado que la respuesta de la materia orgánica e inorgánica, frente a los campos electromagnéticos, está vinculada con la frecuencia oscilación de los mismos, lo cual permite clasificar dichas radiaciones en: ionizantes y no ionizantes (RNI). La RNI es aquella que no contiene la suficiente energía para modificar la estructura molecular

de la materia (arrancar electrones o romper enlaces químicos), entre las cuales se encuentran la radiación ultravioleta, radiación visible, radiación infrarroja, láseres, microondas y radiofrecuencia. Cabe destacar que el avance y la proliferación de los sistemas de comunicaciones que utilizan el espectro radioeléctrico, ha traído como consecuencia el incremento de la contaminación por Radiación No Ionizante (RNI). Este tipo de contaminación constituye un riesgo silente, dado que a excepción de las emisiones correspondientes a la banda de frecuencias de la luz visible, las RNI no pueden ser detectadas por los humanos a través de sus sentidos, haciendo imposible determinar el grado de contaminación electromagnética si no se realizan las mediciones respectivas.

En tal sentido, se ha demostrado que las RNI causan respuestas biológicas como lo son el calentamiento y la inducción de corrientes eléctricas en los tejidos y células. Por lo tanto, las ondas electromagnéticas pueden representar un peligro dado que dichos efectos biológicos pueden provocar daños en la salud.

Con la finalidad de investigar coherentemente y unificar el criterio internacional sobre el efecto de las RNI en los sistemas biológicos, se creó la ICNIRP (International Commission On Non-ionizing Radiation Protection), o Comisión Internacional para la Protección frente a las Radiaciones No Ionizantes, que es un ente de la Organización Mundial de la Salud, OMS, que conjuntamente con la Unión Internacional para las Telecomunicaciones, UIT, establecen mediante recomendaciones [1], los valores máximos permitidos de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos a los cuales pueden ser expuestos los seres humanos. En este sentido, en Venezuela, CONATEL estableció la Providencia Administrativa N° 581 que rige las condiciones de seguridad ante las emisiones de radiofrecuencia producida por estaciones radioeléctricas [2] y SENCAMER incorporó como norma nacional COVENIN a la revisión del año 2000 de la norma FONDONORMA 2238 denominada: “RADIACIONES NO IONIZANTES. LÍMITES DE EXPOSICIÓN. MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL”. [3]

No obstante, en Venezuela no se han publicado o divulgado, resultados de estudios relativos a mediciones de las RNI en ambientes urbanos y por ende no existe data certera sobre la cual afirmar si se está en presencia de niveles de radiación que pongan en peligro la salud de las personas. Por lo cual, es necesario realizar mediciones que permitan garantizar el cumplimiento con los niveles establecidos por la regulación nacional.

En este orden de ideas, se realizó un estudio que contempló la medición de la intensidad de campo eléctrico de radiofrecuencia, la intensidad de campo eléctrico a frecuencia de red y la densidad de flujo magnético a frecuencia de red, dentro de una zona piloto de la capital Venezolana. No obstante, para poder observar las implicaciones de la distribución espacial de los campos electromagnéticos es necesario representar cartográficamente los resultados. En este contexto, se realizó de un mapa coroplético que permitió vincular la data recabada durante el proceso de medición con gvSIG, como sistema de información geográfica. Las herramientas de análisis espacial y procesamiento de los datos disponibles en SEXTANTE, posibilitaron la interpolación de la magnitud de los CEM de radiofrecuencia, a fin de estimar la incidencia y distribución de las RNI en aquellos puntos donde no se realizaron mediciones.

## **2. Metodología:**

### **2.1. Herramientas utilizadas:**

Los instrumentos de medición, equipamiento y las herramientas informáticas utilizadas en la caracterización, en el análisis espacial y en la representación cartográfica de contaminación electromagnética de la zona piloto fueron:

- CEMSOFT-1: es un software desarrollado por la Fundación Instituto de Ingeniería (FII), por el Centro de Ingeniería Eléctrica y Sistemas (CIES) en su Laboratorio de Electromagnetismo Aplicado (LEA), diseñado para el estudio de las RNI. [4]
- Sonda isotrópica de Campo Eléctrico modelo HI-6105 fabricada por ETS-Lindgren. Rango de frecuencia (100 kHz – 6 GHz)
- Medidor de Campo de baja frecuencia modelo HI-3604 fabricada por ETS-Lindgren. Respuesta frecuencial (30 Hz – 2 kHz)
- Computador portátil.
- Navegador GPS Marca Garmin Modelo Nuvi 200.
- GvSIG 1.9.

### **2.2. Selección de la zona piloto:**

A fin de seleccionar la zona piloto en la cual se llevó a cabo el proceso de medición, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Condiciones de las vías de acceso: la zona piloto debe contar con vías de libre acceso y tránsito, debido a que la instrumentación utilizada requiere alimentación AC, la cual en este caso fue suministrada por un inversor conectado a la salida de 12 V<sub>DC</sub> del vehículo.
- Actividad económica desarrolladas en la zona piloto: en la zona seleccionada se efectúa una actividad comercial importante, evidenciado por la presencia de centros comerciales, como: Sambil, Tolón, Lido, C.C.C.T, entre otros. En el área de Los Palos Grandes se encuentran diversas empresas de Telecomunicaciones del país, entre las cuales están: CANTV, Movistar, Nokia, Huawei, BTC celular (Motorola), entre otras. Esta área tiene gran relevancia para la investigación dado que se encontraron en ella, una alta densidad de estaciones base de telefonía celular.
- Presencia institucional del Estado en la zona piloto: dentro del área elegida se localiza la sede de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL, específicamente en Las Mercedes, Municipio Baruta. A su vez, en el área del municipio Chacao se encuentra la sede de la Corporación Andina de Fomento (CAF), institución que constituye la principal fuente de financiamiento multilateral de la región andina.
- Presencia de espacios de uso colectivo como escuelas y centros de salud. Las personas que se encuentran en instalaciones educativas u hospitalarias pueden ser más sensibles a las RNI. Así mismo, los equipos electromédicos de los centros hospitalarios pudieran verse afectados con la presencia de ciertas magnitudes de intensidad de campo eléctrico. [5]

### **2.3. Consideraciones de las mediciones:**

- Las mediciones fueron realizadas en días laborables (lunes a viernes) puesto que en esos días se desarrolla el mayor número de actividades generadoras de radiación electromagnética
- Estudios previos [6], señalan que las mediciones de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico en horas nocturnas fueron significativamente inferiores que los diurnas por tal motivo en este estudio, solo se realizaron mediciones en horario diurno.
- Para iniciar el proceso de medición, se realizó la conexión de la sonda isotrópica de campo eléctrico, posteriormente se tomaron las coordenadas del lugar, y se dio inicio a la medición. Cada medición se llevó a cabo durante 6 minutos continuos, según indica en el artículo 15 de la Providencia Administrativa N° 581 de CONATEL [2]. En este tiempo, la sonda captura la data que permite obtener un promedio de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico, que se utilizó para realizar el mapeo geográfico de la zona piloto seleccionada.
- Para realizar las mediciones de intensidad de campo eléctrico y densidad de flujo magnético a frecuencia de red, se midió en dirección X (norte), Y (este) y Z (vertical), esto permitió calcular la magnitud de intensidad de campo eléctrico y densidad de flujo magnético para frecuencia de red.

### **2.4. Realización de los mapas coropléticos correspondientes a los magnitudes medidas:**

Se creó una capa de puntos con las coordenadas obtenidas en campo y los datos asociados a las mediciones de campo electromagnético. Esta capa se superpuso a una capa vectorial de la ciudad de Caracas para verificar la localización de las mediciones realizadas.

La interpolación de la magnitud de intensidad de campo eléctrico a radiofrecuencia se realizó mediante tres métodos: IDW (Inverse Distance Weighting), Spline y Kriging; cuyos resultados fueron comparados para determinar el de mejor ajuste. El proceso de validación se basó en pruebas de bondad del ajuste; en ellas el método IDW también conocido como “peso por distancias inversas” arrojó un error absoluto medio, un error cuadrático medio y una distancia euclidiana más baja que los otros métodos de interpolación cotejados.

Utilizando la herramienta de Interpolación IDW, incluida en los algoritmos de rasterización e interpolación del modulo SEXTANTE (gvSIG), se configuró el proceso para tomar como exponente 2, valor usado generalmente para este método de interpolación [8], y un radio de inspección de 500 m con la finalidad de incluir las fuentes de contribución que se encuentran en un radio de 500 m del punto a interpolar y lograr una apariencia más suavizada en el raster resultante.

Debido a la concentración de los datos en un rango muy estrecho (0 y 3.5 V/m), se decidió emplear intervalos iguales para representar la magnitud de intensidad de campo eléctrico; obteniéndose 15 clases, las cuales permiten una mejor discriminación visual de las mediciones.

### 3. Resultados

El proceso de representación geográfica de las mediciones realizadas decantó en la producción cartográfica de cuatro mapas coropléticos, tres mapas de mediciones puntuales, que son: Magnitud de la intensidad de campo eléctrico a radiofrecuencias (Figura 3), Magnitud del campo eléctrico a frecuencia de red y Magnitud del campo magnético a frecuencia de red. Finalmente, se diseñó el mapa de Magnitud de la intensidad de campo eléctrico a radiofrecuencias a partir de los resultados interpolados con el método IDW (Figura 4).

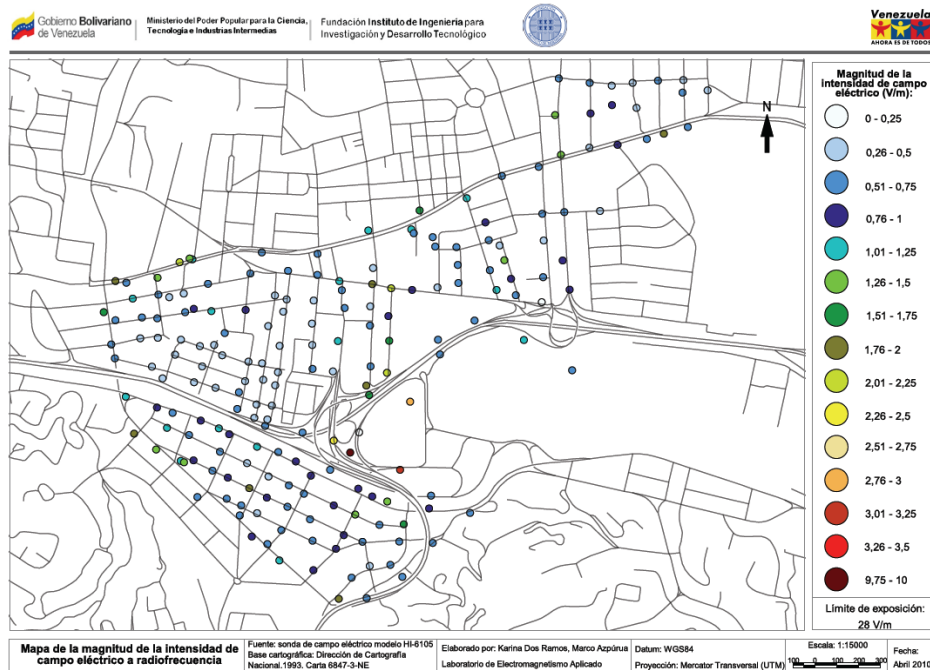


Figura 3. Mapa de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico a radiofrecuencias para las mediciones puntuales.

El error promedio obtenido en la interpolación de las mediciones de campo eléctrico de radiofrecuencias dentro de la poligonal que define al área estudiada, fue de 0,384 V/m.

Los resultados señalan que es posible diferenciar las zonas comerciales de las residenciales en función de la magnitud de los campos electromagnéticos. En las áreas residenciales se encuentran valores de campo eléctrico para radiofrecuencia que oscilan entre los 0,4 y 1,3 V/m, mientras que en áreas comerciales se encontraron valores superiores.

Para frecuencia de red, se midieron valores de campo eléctrico en un rango de 0,595 a 10 V/m; se encontraron dos valores atípicos (95,574 V/m en los Palos Grandes y 49 V/m en la Floresta), ambos en zonas residenciales, estas mediciones se asocian a la cercanía a bancos de transformadores eléctricos

En las observaciones de magnitud de densidad de flujo magnético a frecuencia de red se observa un comportamiento similar al anterior, teniéndose valores en zonas

residenciales que van desde 0,198 hasta los 25 mG; a excepción de un punto en Chacao que arrojó 33,49 mG, debido a la cercanía a transformadores eléctricos.

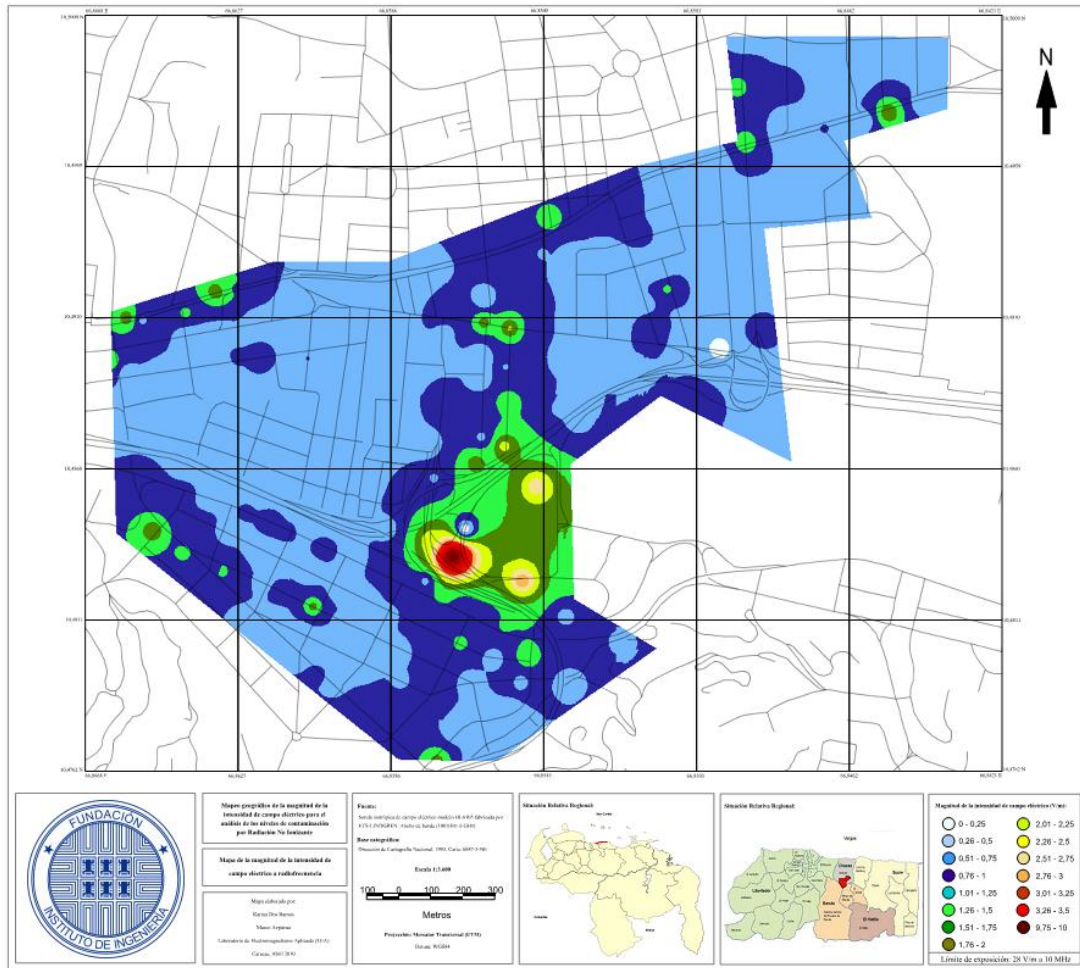


Figura 4. Mapa de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico a radiofrecuencias para los resultados interpolados con el método IDW.

#### 4. Conclusiones

El tratamiento de las mediciones de la intensidad de campo eléctrico y magnético en un Sistema de Información Geográfica permite disponer de herramientas especializadas para manipular, analizar y modelar datos relativos a niveles de contaminación por radiación no ionizante en una zona piloto del Distrito Capital.

En las mediciones, no se encontraron magnitudes superiores a los límites establecidos por la ICNIRP y las normativas nacionales para intensidades de campo eléctrico a radiofrecuencia y a frecuencia de red y para intensidades de campo magnético a frecuencia de red. Sin embargo, estos límites pudieran cambiar si, producto de investigaciones, se concluye que la exposición de seres humanos a otras magnitudes de intensidad de campo puede traer efectos nocivos para su salud.

En tal sentido, la data recopilada puede ser utilizada en futuras investigaciones epidemiológicas en la zona, a fin de intentar correlacionar las magnitudes de los campos

electromagnéticos con algún tipo de síntoma u enfermedad que se presume asociada a una alta exposición a RNI.

Por otra parte, la diferencia notable entre la magnitud de las RNI en áreas comerciales y empresariales; y la medida en zonas residenciales puede justificarse por la alta concentración (en horario laboral diurno) de usuarios de telefonía celular en los espacios comerciales y empresariales, lo cual ha conllevado a la localización de una mayor cantidad de celdas de telefonía móvil en estas áreas.

Para este estudio, el método IDW resultó ser el más adecuado para interpolar la magnitud de la intensidad de campo eléctrico a radiofrecuencia, ya que a través de este método se lograron mejores resultados en las pruebas de bondad de ajuste. Adicionalmente, se puede señalar que los resultados de la interpolación IDW más ajustados se obtuvieron para un radio de búsqueda de al menos 500 m y un exponente 2.

## 5. Referencias bibliográficas

1. Rüdiger Matthes y Bundesamt für Strahlenschutz. *Guía de lineamientos para el límite de exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos*. ICNIRP, Alemania.
2. Providencia Administrativa N° 581 de CONATEL. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 38.201, Junio 3, 2005.
3. COVENIN 2238. *Norma Venezolana Radiaciones No Ionizante. Límites de exposición. Medidas de protección y control*. (2da revisión). Diciembre 13, 2000.
4. Kurz, S. Desarrollo de un sistema para la medición, monitoreo y análisis de los niveles de contaminación por radiación no ionizante. Instituto de Ingeniería, Caracas - Venezuela.
5. Norma ISO/IEC 60601-1-2 *Compatibilidad Electromagnética para equipos electromédicos*. 2007
6. García E, Cepeda J, Melcón B, Búrdalo G, de Barrios M, Fuentes M y Fernández A. *Mapa de Radiaciones no Ionizantes en la Ciudad de León*. Universidad de León, España 2008.
7. Dos Ramos, K. Mapeo geográfico de la magnitud de la intensidad del campo eléctrico para el análisis de los niveles de contaminación por Radiación No Ionizante. Instituto de Ingeniería, Caracas - Venezuela.
8. Legendre, P y Legendre, L. *Numerical Ecology*. Segunda Edición. Editorial Elsevier. Canadá.